



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECANICA**

TITULO

Diseño de un manual de operación y mantenimiento para
Microcentrales Hidroelectricas.

AUTORES

Br. Manuel Iván Martínez Rizo.

Br. Carlos Mauricio Reyes Vargas.

TUTOR

Ing. Silvio Solórzano Moody.

Managua, Septiembre de 2013.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

MARTÍNEZ RIZO MANUEL IVÁN

Carne: **2007-21575** Turno **Diurno** Plan de Estudios **972A** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y cuatro días del mes de Julio del año dos mil doce.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA debe constar que:

REYES VARGAS CARLOS MAURICIO

Carné: 2007-22074 Turno Diurno Año de Estudios 972A es condecorado con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es EGRESADO de la Carrera de INGENIERIA MECANICA.

Se extiende a prezente CARTA DE EGRESADO, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los dieciocho días del mes de marzo del año dos mil trece.

Atentamente,

Ing. Wilmar José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

DECANATURA

A: Bns. Manuel Iván Martínez Rizo
 Carlos Mauricio Reyes Vargas

DE: Facultad de Tecnología de la Industria

FECHA Lunes 30 de julio de 2012

Por este medio hago constar que su trabajo de Investigación Títulado **"Diseño de un Manual de Operaciones y Mantenimiento para Microcentrales Hidroeléctricas"**. Para obtener el título de Ingeniero Mecánico, Que Contara con el Ing. Silvio Solórzano Moody, como profesor guía, ha sido aceptado por esta Decanatura por lo que puede proceder a su realización.

Cordialmente,

Ing. Daniel Cuadro Horney
Decano



Cc: Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

DECANATURA

A: Bn. Manuel Iván Martínez Rizo
Carlos Mauricio Reyes Vargas

DE: Facultad de Tecnología de la Industria

FECHA: Jueves 08 de agosto de 2013

Por este medio hago constar que la solicitud de prórroga para el trabajo de Investigación Titulado "Diseño de un Manual de Operaciones y Mantenimiento para Microcentrales Hidroeléctricas.". Para obtener el título de Ingeniero Mecánico, y contare con el Ing. Silvio Solórzano Moody, como profesor guía ha sido aprobado para el jueves 05 de septiembre del 2013.

Cordialmente,

Ing. Daniel Cuadra Horney
Decano



Cc: Archivo

Managua, 27 de Enero del 2012
PNESER-FODIEN-033-01-12

**Manuel Iván Martínez Rizo y
Carlos Mauricio Reyes Vargas**
Estudiantes de Ing. Mecánica
UNIRUPAP

Estimados Estudiantes:

Reciban un cordial saludo de mi parte.

La presente es para comunicarles que ha sido valorada y aceptada su solicitud de realizar Monografía de culminación de estudios en nuestra Institución.

Con respecto a su solicitud de las giras de campo, estas mismas se deberán programar en base al programa de trabajo que se esté llevando a cabo en el Área de PCTI.

Sin más a que referirme y deseándoles éxito en su culminación de estudios.

Me despido fraternalmente,


Ing. Estela Martínez Cerrato
Coordinadora General Adjunta PNESER-FODIEN


CC: Ing. Luis Zambrano, Coordinador Técnico PCTI
Ing. Leonardo Zúiga, Resp. Programa MCH
Archivar

**NICARAGUA
DE VICTORIA
EN VICTORIA!**

CRISTIANA SOCIALISTA SOLIDARIA
OFICINA PNESER-FODIEN
Edificio 2012 de la Avenida Central, 100 mts
al norte al Este. M.I. Tel. 2225-0440 2225-4510

DEDICATORIA.

Dedicamos este trabajo a:

Dios, altísimo y padre celestial por darnos la oportunidad de superación, y fortalecernos en los momentos débiles.

Nuestras familias, por brindarnos todo su apoyo para que haya sido posible la realización de este trabajo y culminación de esta etapa de nuestra vida.

Nuestros maestros, por enseñarnos todo lo posible para formarnos como profesionales.

Y a todas y cada una de las personas que de una u otra manera hicieron posible la realización de este trabajo.

RESUMEN.

El presente trabajo monográfico representa el trabajo de culminación de estudios para optar al título de Ingeniero Mecánico.

En el presente trabajo se diagnostica el estado de las Microcentrales Hidroeléctricas “Malacatoya”, “El Roblar” y “El Plan” con el fin de diseñar el plan de operación y mantenimiento que debe ejecutarse para mantener la generación de energía eléctrica y alargar la vida útil de las Microcentrales.

Este trabajo está dividido en 6 capítulos los cuales se resumen de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se describen aspectos generales de una Microcentral Hidroeléctrica, el principio de generación, características y elementos principales para la generación de energía eléctrica.

En el capítulo 2 se detallan las obras civiles necesarias en una Microcentral Hidroeléctrica; partes, funcionamiento, características y clasificación.

En el capítulo 3 se describe la casa de máquinas, elementos mecánicos y equipo electromecánico que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, sus partes, funciones y clasificación.

En el capítulo 4 se describe la importancia, objetivo, clasificación y planificación del mantenimiento.

En el capítulo 5 se detalla la metodología utilizada para el diagnóstico del estado de las Microcentrales Hidroeléctricas, se presentan además los resultados obtenidos.

En el capítulo 6 se presenta el plan de operación y mantenimiento, detallando las actividades de mantenimiento de cada componente, su periodicidad, posibles fallas y soluciones, y las normas de seguridad en su realización.

ÍNDICE.

	Página
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
3. Justificación	3

Marco Teórico.

Capítulo 1: Microcentral Hidroeléctrica, Generalidades.	4
1.1. Microhidrogeneración	4
1.2. Principio	4
1.3. Características generales	5
1.4. Clasificación	5
1.4.1. Clasificación I	6
1.4.2. Clasificación II	6
1.4.3. Clasificación III	7
1.5. Elementos que forman un aprovechamiento hidráulico	7
Capítulo 2: Obras Civiles de una Microcentral Hidroeléctrica.	8
2.1. Presa	8
2.2. Clasificación de las presas	8
2.3. Fuerzas que actúan sobre una presa	9
2.4. Obra de toma	10
2.4.1. Obra de toma en presa de almacenamiento	10
2.4.2. Obra de toma en presa de derivación	11
2.4.3. Localización de la obra de toma	12
2.5. Aliviaderos	13
2.6. Desarenadores	14
2.7. Malla coanda	16
2.8. Cámara de carga	18
2.9. Canales	19

2.10. Tubería de presión	20
2.10.1. Pautas para seleccionar una tubería de presión	21
2.10.2. Para considerar de qué tipo de material será la tubería	21
2.10.3. Materiales	21
2.10.4. Uniones de tubería de presión	22
2.10.5. Válvulas	24
2.10.6. Anclajes y apoyos en tubería de presión	27
2.10.7. Válvulas de aire.	28

Capítulo 3: Casa de máquinas y sus componentes. 29

3.1. Turbina	29
3.2. Clasificación de las turbinas	29
3.3. Partes de la turbina	32
3.4. Regulación de la velocidad	32
3.4.1. Regulación de la velocidad por medio del caudal de agua en la turbina	33
3.4.2. Regulación de la velocidad por regulación de carga	34
3.5. Sistema de transmisión de potencia mecánica	35
3.5.1. Elementos de un sistema de transmisión de potencia mecánica	36
3.5.2. Tipos de transmisiones	37
3.5.3. Ejes	37
3.5.4. Acoplamientos	38
3.5.5. Cojinetes	39
3.6. Generadores eléctricos	39
3.6.1. Componentes de los generadores eléctricos	39
3.6.2. Elementos de control y protección de la generación	40
3.7. Canal de descarga	42

Capítulo 4: Mantenimiento.	43
1.1. Concepto	43
1.2. Finalidad del mantenimiento	43
1.3. Objetivos del mantenimiento	43
1.4. Tipos de mantenimiento	44
1.5. Planificación del mantenimiento	45
1.6. Análisis de fallas	45
1.7. Toma de decisiones	46

Metodología y desarrollo del tema.

Capítulo 5: Diagnóstico de las Microcentrales Hidroeléctricas.	47
5.1. Metodología empleada para diagnóstico de las Microcentrales Hidroeléctricas	47
5.2. Diagnóstico de Microcentral Hidroeléctrica Malacatoya	47
5.2.1. Obra de toma de agua	48
5.2.2. Cámara de carga y desarenador	49
5.2.3. Tubería de presión	50
5.2.4. Casa de máquinas	51
5.2.5. Sistema de regulación de velocidad	52
5.2.6. Sistema de transmisión de potencia	53
5.2.7. Generador eléctrico	53
5.2.8. Canal de descarga	54
5.3. Diagnóstico de Microcentral Hidroeléctrica El Roblar	54
5.3.1. Obra de toma de agua	54
5.3.2. Cámara de carga y desarenador	55
5.3.3. Tubería de presión	56
5.3.4. Casa de máquinas	57
5.3.5. Sistema de regulación de velocidad	59
5.3.6. Sistema de transmisión de potencia	59
5.3.7. Generador eléctrico	60

5.3.8. Canal de descarga	61
5.4. Diagnóstico de Microcentral Hidroeléctrica El Plan	61
5.4.1. Obra de toma de agua	61
5.4.2. Cámara de carga y desarenador	62
5.4.3. Tubería de presión	63
5.4.4. Casa de máquinas	64
5.4.5. Sistema de regulación de velocidad	65
5.4.6. Sistema de transmisión de potencia	66
5.4.7. Generador eléctrico	66
5.4.8. Canal de descarga	67
Capítulo 6: Manual de Mantenimiento y Operación de las Microcentrales Hidroeléctricas.	68
6.1. Manual de Mantenimiento de las MCH	68
6.1.1. Mantenimiento en la obra de toma de agua	68
6.1.2. Mantenimiento del desarenador y cámara de carga	69
6.1.3. Mantenimiento en tubería de presión	70
6.1.4. Mantenimiento de la casa de máquinas	70
6.1.5. Mantenimiento de válvulas	71
6.1.6. Mantenimiento de turbinas	72
6.1.7. Mantenimiento del sistema de transmisión de potencia	73
6.1.8. Mantenimiento del regulador de velocidad	77
6.1.9. Mantenimiento del generador eléctrico	77
6.1.10. Programa de Mantenimiento	78
6.1.11. Repuestos y Herramientas para mantenimiento	80
6.2. Manual de Operación de las MCH	81
6.2.1. Pasos para poner en servicio las MCH	82
6.2.2. Pasos para sacar de servicio las MCH	85
6.2.3. Diagnóstico de fallas, posible causa y acción a tomar	86
6.3. Control del mantenimiento y operación de la MCH	91
6.3.1. Ficha de operación	92

6.3.2. Ficha de mantenimiento	92
6.3.3. Ficha de lubricación	93
6.4. Plan de Seguridad Industrial	93
6.4.1. Normas de seguridad personal	93
6.4.2. Normas de seguridad en el empleo de herramientas	94
6.4.3. Normas de orden y limpieza en la MCH	94
6.4.4. Uso de ropa y equipos adecuados	95
6.4.5. Las señales de seguridad	95
7. Conclusiones	98
8. Recomendaciones	99
9. Bibliografía	100

Anexos

Anexo A. Cálculos para el diseño del desarenador y cámara de carga.

Anexo B. Formatos para el control del mantenimiento y operación de la MCH.

Anexo C. Imágenes de las Microcentrales Hidroeléctricas en estudio.

Anexo D. Dimensionamiento de guarda de seguridad.

I. INTRODUCCIÓN.

En Nicaragua existen zonas rurales situadas fuera del Sistema Interconectado Nacional (SIN), debido a la lejanía de estas comunidades y a los altos costos que conllevaría extender la red eléctrica hacia estos poblados con baja densidad poblacional, y que viven en la pobreza, no cuentan con ningún tipo de energía eléctrica, por lo antes descrito la generación de energía eléctrica a partir de energía hidroeléctrica a pequeña escala ha demostrado ser apropiada para las condiciones de las poblaciones rurales.

La generación con energía hidráulica a pequeña escala constituye para Nicaragua una alternativa tanto para suministrar energía a zonas rurales aisladas como también para la sustitución del uso de las fuentes tradicionales.

En la actualidad se han instalado Microcentrales Hidroeléctricas en estos lugares resolviendo el problema de energía pero, estas presentan problemas de funcionalidad debido al incorrecto funcionamiento y mantenimiento de las mismas.

II. OBJETIVOS.

Objetivo general:

Diseñar un manual de operación y mantenimiento preventivo-correctivo incluyendo únicamente presa, línea de conducción y casa de máquinas de las Microcentrales Hidroeléctricas supervisadas por el Ministerio de Energía y Minas (MEM).

Objetivos específicos:

- Elaborar un diagnóstico sobre el funcionamiento actual de las Microcentrales Hidroeléctricas.
- Diseñar plan de operación de la Microcentral Hidroeléctrica.
- Diseñar plan de mantenimiento de la Microcentral Hidroeléctrica.
- Elaborar ficha técnica para la operación diaria de la Microcentral Hidroeléctrica.
- Sugerir recomendaciones acerca de las posibles mejoras que pueden implementarse a las Microcentrales Hidroeléctricas.

III. JUSTIFICACIÓN.

Con esta investigación lo que se pretende lograr es brindarle a las comunidades un conocimiento básico y simple del funcionamiento y mantenimiento de las Microcentrales Hidroeléctricas de tal forma que puedan ser acogidas por los operarios sin necesidad de que estos tengan un gran conocimiento técnico, logrando así una auto sostenibilidad del proyecto de manera que estas funcionen de manera más eficiente en la generación de energía eléctrica, y aprovechando los equipos e implementos ya existentes, evitando gastos en reparaciones y compra de equipos nuevos en situaciones que no deberían presentarse si se tiene un buen funcionamiento y mantenimiento de las Microcentrales.

De manera que la población logre ser beneficiada completamente por el proyecto con energía estable y de calidad en sus hogares, así como beneficios sociales, teniendo iluminación por la noche, acceso a información, comunicación, entretenimiento, económicamente se obtiene ingresos en hogares que se tiene pequeñas pulperías y además brindan el servicio de productos que necesitan climatización.

1. MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA, GENERALIDADES.

1.1. Microhidrogeneración.

Estos sistemas se clasifican, por lo general en tres rangos de potencia: en gran escala, mini y micro generación.

Los sistemas de mini generación son una pequeña contribución en el suministro a la red, los sistemas de micro generación son aún más pequeños y, por lo general no suministran energía eléctrica a las redes nacionales. Se usan en áreas apartadas donde no llega la red y, en algunos casos proveen energía a pequeñas industrias o comunidades rurales.

En muchos países hay una necesidad creciente de suministros de energía para las áreas rurales y las autoridades gubernamentales se enfrentan a los altos costos de la extensión de las redes eléctricas. Con frecuencia la Microhidrogeneración constituye una alternativa económica a la red, pues con los micros hidrosistemas independientes se ahorra el costo de las líneas de transmisión, utilización de equipo muy costoso para la instalación, y costos de personal.

Es decir, los sistemas de micro hidrogenación pueden ser diseñados y contruidos por personal local y organizaciones más pequeñas cumpliendo con requisitos menos estrictos y usando componentes fabricados en serie y maquinaria fabricada localmente.

1.2. Principio.

Una Microcentral Hidroeléctrica es la que produce energía eléctrica mediante la captación de agua, se provoca un desnivel que origina una cierta energía potencial acumulada, luego el paso del agua por la tubería (energía cinética) hasta pasar por la turbina (energía mecánica) moviendo el generador y luego el agua se devuelve a su cauce en las mismas condiciones que es tomada.

1.3. Características Generales.

Las ventajas de la energía hidroeléctrica son evidentes, no requiere combustible, sino que usa una forma autóctona de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita. Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua. A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación, incluso ornamentación del terreno y turismo.

Estas microcentrales no generan contaminación visual del paisaje ya que sus instalaciones no requieren de grandes obras civiles, ni producen ruidos, sólo un zumbido suave por el funcionamiento de las micro turbinas. Las micro turbinas pueden disimularse entre arbustos u otras construcciones, y llevan unas tuberías que pueden ir enterradas o disimuladas en su recorrido.

Los costos de mantenimiento y explotación son bajos. Las obras ingenieriles necesarias para aprovechar la potencia hidráulica tiene una duración considerable. La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura que puede ponerse en marcha o detenerse con rapidez, requiere de poca vigilancia y los costos de mantenimiento por lo general son reducidos.

Estos son sistemas en pequeña escala que replican en cierta forma el aprovechamiento hidroeléctrico tradicional y mucha de la tecnología utilizada para centrales hidroeléctricas pueden aplicarse en parte y a otra escala más pequeña, adaptándola en cuanto a diseño y justificación de costos.

La conveniencia económica de estas plantas se basa en una inversión mínima inicial para las obras civiles, el equipamiento y un mínimo costo de operación y mantenimiento.

1.4. Clasificación.

Las centrales hidroeléctricas pueden ser de muchas formas, en cuanto a la concepción básica, en la disposición de las obras de ingeniería civil

correspondientes y en el tipo de turbina hidráulica.

El aprovechamiento de un curso de agua para producir energía eléctrica implica necesariamente adecuar la solución a las características del mismo. Por esta causa, los esquemas típicos de las centrales hidroeléctricas se corresponden con características tales como el caudal del río, las condiciones geológicas, o la configuración topográfica del lugar del emplazamiento, por lo tanto no es sencillo hacer una clasificación rigurosa.

Las centrales hidroeléctricas se construyen actualmente en muy diversas gamas de potencias, desde las más pequeñas, hasta las de mayor tamaño conocido.

1.4.1. Clasificación I.

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia.

Región	Institución	Micro Central	Mini Central	Pequeña Central
Mundial	ONUDI ¹	≤ 100 KW	101 – 2000 KW	2000 – 10000 KW
Latinoamérica	OLADE ²	≤ 50 KW	51 – 500 KW	500 – 5000 KW

1.4.2. Clasificación II.

Según la caída de agua (desnivel o salto):

- Centrales de alta presión:
 - ✓ Saltos grandes (> 200 m), pequeños caudales desalojados ($20 \text{ m}^3/\text{s}$).
 - ✓ Turbinas Pelton (principalmente) y Francis.
 - ✓ Tuberías de gran longitud.
 - ✓ Zonas de alta montaña.
- Centrales de media presión:
 - ✓ Saltos medios (20-200 m), caudales medios ($200 \text{ m}^3/\text{s}$).
 - ✓ Turbinas Francis.
 - ✓ Embalses grandes.

¹ Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

² Organización Latinoamericana de Energía.

- Centrales de baja presión.
 - ✓ Saltos pequeños (< 20 m) y caudales grandes ($> 300 \text{ m}^3/\text{s}$).
 - ✓ Turbinas Francis y Kaplan (principalmente).
 - ✓ Valles amplios de baja montaña.

1.4.3. Clasificación III.

Según el régimen de flujo del agua:

- De agua fluyente.
- De agua embalsada o de regulación.
- Centrales de Bombeo.

1.5. Elementos que forman un aprovechamiento hidráulico.

- Cuenca hidrográfica de un río definida a partir del sitio de toma o almacenamiento.
- Almacenamiento, formado por una presa en un sitio previamente escogido.
- Derivación, en donde, por medio de una presa, se deriva el escurrimiento del río al sistema de conducción.
- Sistema de conducción y distribución, el cual se constituye de acuerdo con el fin específico del aprovechamiento que puede estar formado por conductos abiertos o cerrados y sus estructuras (canales abiertos, tuberías, túneles, etc.), a través del cual se conduce el agua desde el punto de derivación hasta la zona de aprovechamiento.
- Utilización directa del agua, la cual se efectúa también mediante elementos específicos según el fin que se trate. Por ejemplo turbinas en caso de aprovechamientos hidroeléctricos.
- Eliminación de volúmenes sobrantes, la cual se efectúa por medio de un conjunto de estructuras especialmente construidas al efecto. Por ejemplo alcantarillados, drenajes, etc.

2. OBRAS CIVILES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA.

2.1. Presa.

Una presa es un muro construido en el lecho de un río con la finalidad de elevar el nivel de la superficie del agua para regular y almacenar para su posterior uso.

El agua se almacena durante los periodos de caudales altos (estación lluviosa) para múltiples usos, incluyendo el de generación hidroeléctrica.

2.2. Clasificación de las Presas.

Las presas se clasifican con base en el tipo y material de construcción como:

- Presas de Gravedad.
- Presas de Arco.
- Presas de Contrafuertes (Machones).
- Presas de Tierra.

1. Presas de Gravedad: La presa de gravedad es una obra de retención que resiste el empuje del agua por su propio peso y usualmente recta en planta aunque algunas veces es ligeramente curvada. Normalmente se construye con bloques grandes de cemento. Ver figura 1 Tipos de Presas.

2. Presas de Arco o Presas de Bóveda: La presa de bóveda en contraposición a la presa de gravedad, es una estructura en forma de arco, que, al igual que el arco de un puente, resiste el empuje del agua apoyándose sobre las riveras. Tiene la forma de una bóveda, cuya convexidad mira aguas arriba, y cuyo espesor crece desde la coronación a la base. Ver figura 1 Tipos de Presas.

3. Presas de Contrafuertes: Las presas de contrafuertes (también llamadas de machones), consisten en losas planas inclinadas y apoyadas a intervalos por muros contrafuertes. Ver figura 1 Tipos de Presas.

4. Presas de Tierra: Este tipo de presas están formadas por roca suelta, grava, arena, limo o arcilla en muy variadas combinaciones de colocación

con el fin de obtener un grado de impermeabilidad y compactación aceptables y previamente establecidos, ya sea por medio de rodillo liso, rodillo con patas de cabra, rodillo vibratorio o paso de equipo de construcción.

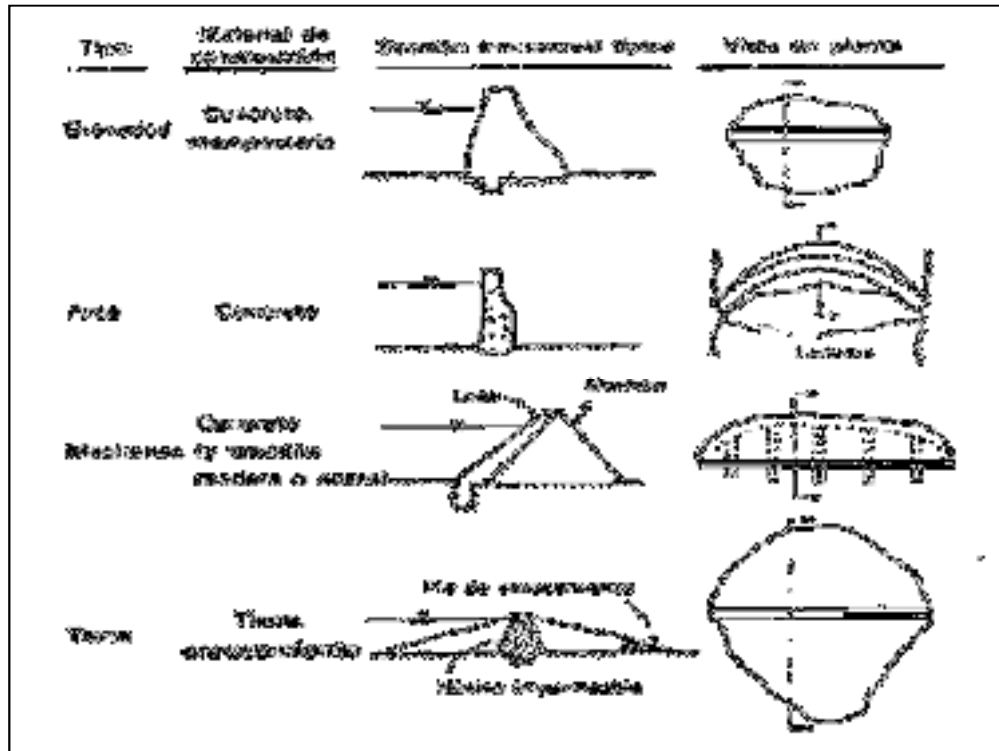


Fig. 1 Tipos de presas.

2.3. Fuerzas que actúan sobre una presa.

Una presa debe ser relativamente impermeable al agua y ser capaz de resistir las fuerzas que actúan sobre ella. Las más importantes de estas fuerzas son:

- Fuerza de la gravedad (peso de la presa).
- Fuerza de la presión hidrostática.
- Fuerza de la subpresión.
- Fuerzas sísmicas o telúricas.

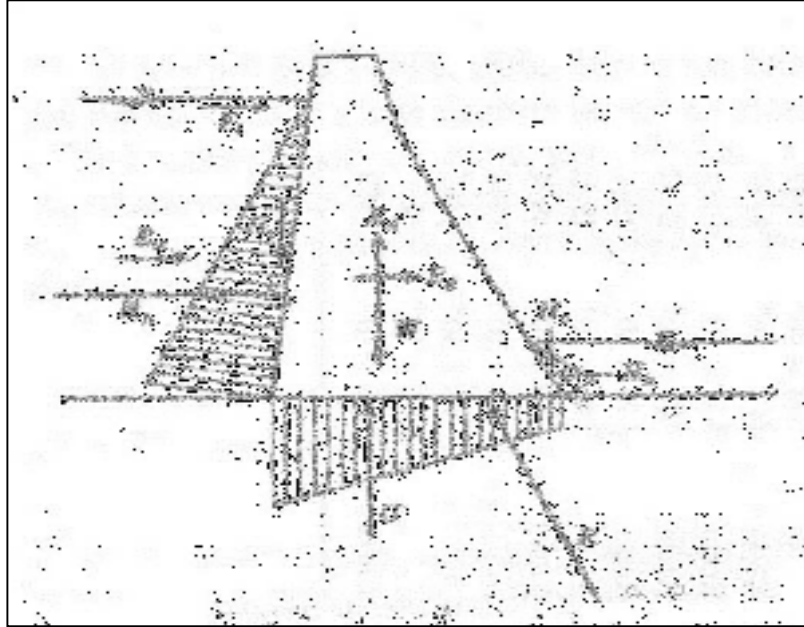


Fig. 2 Fuerzas que actúan sobre una presa.

2.4. Obra de toma.

Las obras de toma sirven para regular o dar salida al agua almacenada en una presa o el agua derivada del río. Pueden dejar salir las aportaciones en forma gradual como en el caso de una presa reguladora o derivar los volúmenes recibidos a canales o tuberías como en el caso de una presa derivadora.

2.4.1. Obra de toma en presa de almacenamiento.

Las tomas deben ser ubicadas a un nivel más alto que el lecho del río para evitar que los sedimentos y el material grueso que las corrientes arrastran entren a la toma, así como en aquellos lugares donde los vientos no puedan llevar malezas y otro tipos de basuras que pudieran obstruir las entradas de las tomas.

En general, una obra de toma consiste en estructura de entrada, conductos, mecanismos de regulación y emergencia con su equipo de operación y dispositivos para disipación de energía.

La estructura de entrada puede consistir en desarenador, rejillas y orificio. Con frecuencia se instalan compuertas de emergencia o de control con el objeto de

desaguar los conductos en casos necesarios.

Los mecanismos de regulación y emergencia consisten en válvulas o compuertas que se diseñan para el caudal máximo y se construyen para ciertas condiciones de operación.

Las de emergencias se instalan aguas arriba de los de regulación, y se conservan abiertas, excepto cuando se hacen maniobras de inspección, reparación y mantenimiento.

Los mecanismos de regulación se operan para extraer los gastos necesarios, y consisten en válvulas o compuertas que pueden operar a aberturas parciales o en su totalidad.

2.4.2. Obra de toma en presa de derivación.

Los conductos en las obras de toma pueden ser túneles o tuberías, o ambos, en donde las tuberías trabajan a presión y los túneles también a presión o como canales abiertos.

Con este tipo de obras de toma se busca extraer agua del vaso de una presa de derivación cuyas capacidades de almacenamientos son despreciables para efectos de regulación.

Debido a esta circunstancia las estructuras se construyen para una de dos condiciones:

- Con el mismo régimen del escurrimiento, si aguas arriba está construida una presa de almacenamiento cuyas extracciones correspondan a cierto régimen preestablecido.
- Con un gasto más o menos constante que puede corresponder al mínimo del escurrimiento, cuando la presa derivadora se construye en un río virgen sin regulación aguas arriba.

Se debe considerar la construcción de un desarenador con el fin de eliminar los sedimentos que lleva el río (gravas y arena), antes de que el agua pase por la

cámara de carga y posteriormente a la tubería.

Se deben instalar rejillas para retener los sólidos flotantes que con frecuencia lleva consigo el agua que escurre, los que pueden provocar molestias y conflictos en la operación del sistema de conducción.

Se deben instalar compuertas (deslizantes o radiales) localizadas aguas abajo de las rejillas, para regular el caudal de entrada o bien cortar el acceso del agua para mantenimiento.

El número de compuertas en una obra de toma siempre debe ser múltiple, con el fin de garantizar el servicio, aun cuando esté en reparación alguna unidad.

Estructura de limpieza: mediante la apertura de compuertas, se provoca el aumento de gasto de agua a través del canal de acceso y, por lo tanto, la velocidad de la misma, consiguiéndose así el arrastre de sólidos que previamente se han sedimentado frente a la toma, los que son regresados al cauce del río a través del desfogue del desarenador.

2.4.3. Localización de obra de toma.

La presa derivadora deberá localizarse en tramos rectos del río. En las curvas el movimiento del agua provoca acumulación de sedimentos en la parte interior del recodo, debido al flujo espiral del agua, que pueden obstruir la entrada de la obra de toma. En la parte cóncava, si bien esta zona se encuentra limpia de arrastres del fondo, en la época de avenidas puede arrastrar grandes rocas y árboles que al impactar con la orilla pueden destruir la obra de toma.

El umbral de la toma debe quedar a una elevación mayor que el piso del canal de acceso, con el objeto de permitir que en dicho canal se acumulen los acarreos sólidos y evitar que pasen a la conducción.

A su vez, el umbral de la toma debe tener una elevación adecuada, en relación con las estructuras de conducción y las obras de aprovechamiento, de manera

que el flujo se pueda lograr por gravedad y a niveles mínimos en el río.

La parte superior de las estructuras, como coronamientos y puentes de maniobras y acceso, deben localizarse arriba de los máximos niveles que alcancen las aguas en flujos extraordinarios.

Para esto, a partir del nivel de aguas máximo extraordinario se debe dejar un bordo libre en función del oleaje probable que se pueda presentar en el embalse de la presa derivadora.

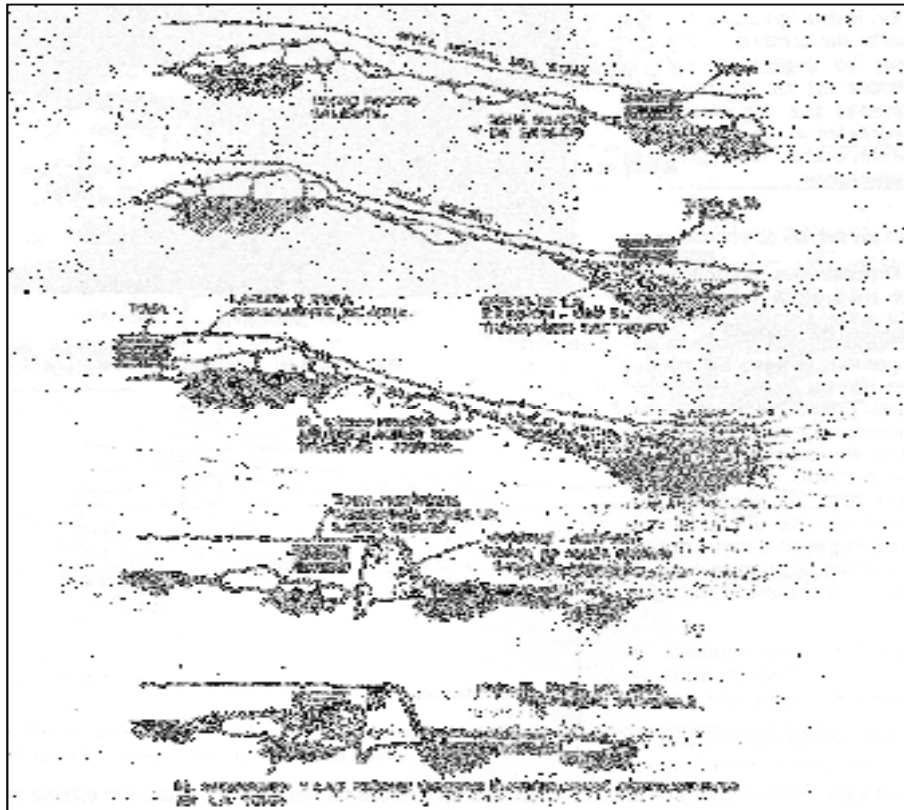


Fig. 3 Localización de obra de toma.

2.5. Aliviaderos.

Un aliviadero es un tipo de vertedor, donde el agua que sobrepasa la capacidad del canal es liberada o forzada a liberar mediante una compuerta reguladora y se libera un caudal que se desea desviar. De esta manera se evita que un sobre caudal llegue a la central. Comúnmente esto ocurre durante las estaciones de

invierno. Sus características principales son su largo, altura y el tipo de cresta definida por un coeficiente de descarga. Todo caudal que se desea aliviar del sistema, debe ser devuelto al río.

Los aliviaderos o vertederos forman parte de las obras de excedencias, tanto en presas como en canales de conducción.

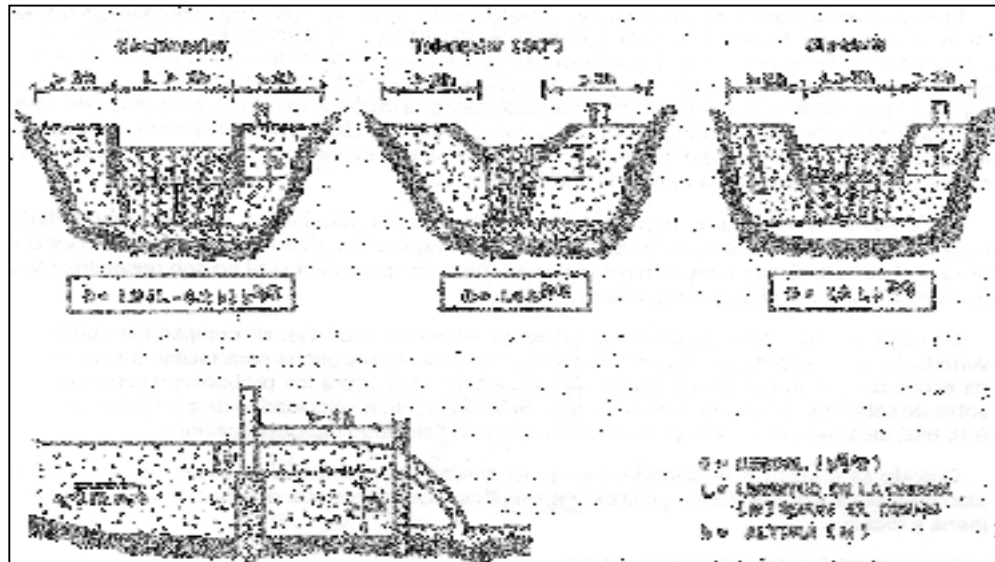


Fig. 4 Tipos de aliviaderos.

2.6. Desarenadores.

Las aguas captadas para propósito de generación de energía, proveniente de ríos, en ocasiones poseen pequeños sólidos como granos de arena. La velocidad con la que estos sólidos impactan a los alabes de la turbina, pueden ocasionar daños como desgaste y erosión.

Es por esta razón que se usan los elementos conocidos como desarenadores. El propósito de estos desarenadores es reducir la velocidad del agua para que estas partículas de arena asienten en el fondo, evitando que la mayoría vayan a la turbina.

Este sedimento se debe asentar en el principio del canal, en algún punto del recorrido y en la entrada de la tubería de presión (en la cámara de carga).

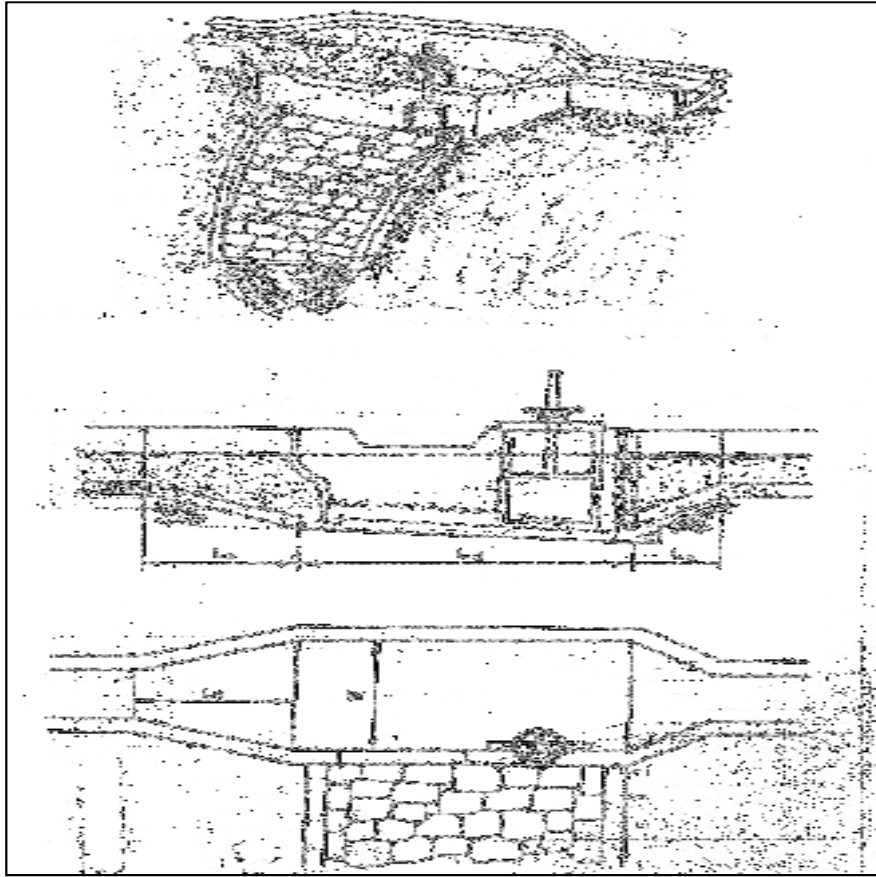


Fig. 5 Desarenador.

Principios que debe cumplir el desarenador³:

- Deben tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen sin ser demasiado voluminosos y caros.
- Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta la base del depósito. Es mejor construir una superficie empedrada similar al canal de desagüe del aliviadero.
- Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harán que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión.
- Capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

³ Los cálculos para el diseño del desarenador son presentados en el anexo A.

2.7. Malla Coanda.

Actualmente en las Microcentrales Hidroeléctricas se ha implementado el uso de un accesorio llamado Coanda, el cual sustituye al desarenador. Coanda es una malla o reja auto limpiante colocada en un sistema de captación de agua para evitar la sedimentación en el lecho del río aguas arribas y el ingreso de sólidos en una tubería de conducción.



Fig. 6 Malla Coanda.

Las captaciones coanda.

Las captaciones coanda utilizan una reja de malla de alambre triangular con aristas afiladas para captar agua limpia de un arroyo o cuerpo de agua. Su diseño único las convierte en mallas autolimpiantes que no requieren de mantenimiento y evitan el ingreso de residuos muy pequeños entren en el sistema. Coanda es una excelente opción para sitios remotos donde la energía y la rutina de mantenimiento son complicadas.

La forma de los filamentos que forman la malla, crea un espacio que se ensancha hacia el interior es decir hacia el canal de recolección. Los sedimentos que pueden pasar a la ranura inicial quedan libres para pasar hacia el canal sin tapar la pantalla. Los sedimentos que no logran pasar por la ranura inicial, son empujados aguas abajo por el flujo de agua, una pantalla totalmente cubierta de

agua ayuda a garantizar la pantalla limpia.

El efecto de corte, las aperturas de los orificios y la velocidad juegan un papel significativo en el volumen de agua que pasa a cada ranura de la malla coanda. Cuando el agua pasa por cada filamento capas de agua son cortadas y desviadas hacia el canal de recolección.

La figura 7 ilustra el efecto coanda, el agua se adhiere a la parte superior de cada filamento y luego es desviada al canal de recolección por el filamento que se encuentra directamente aguas abajo.

La capacidad de captación de agua a través del coanda se muestra como “Qts”, la carga o altura de flujo “D” disminuye a medida que avanza el flujo desde lo alto hacia la parte baja del coanda, esto es como resultado del agua que ingresa al coanda (reducción de caudal sobre el coanda) y también por el incremento de la velocidad.

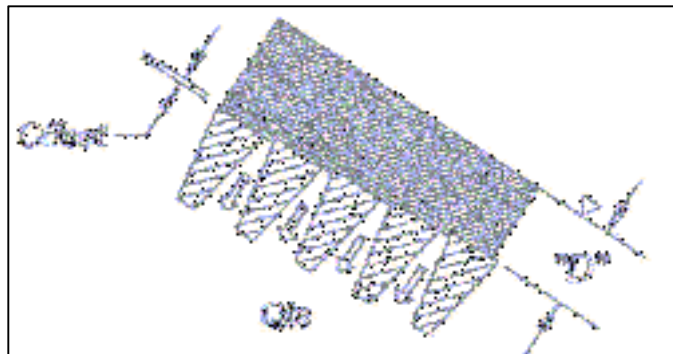


Fig. 7 Efecto coanda.

Ventajas.

- Reducción de costos de inversión. Los desechos se excluyen y pasa aguas abajo sin ingresar al sistema. Esto virtualmente elimina la necesidad de un desarenador.
- Bajo mantenimiento. No requiere partes móviles y la captación esta siempre limpia. Sin desarenador, desagüe de fondo y otras compuertas los costos de mantenimiento bajan.

- Maximiza la potencia. Rejas limpias permiten mayor flujo hacia la turbina y por ende mayor potencia todo el tiempo.
- Maximiza la energía. Al evitar mantenimientos se reducen las paradas programadas de la central.
- Reduce ingresos de sedimentos.
- Incrementa vida útil de los componentes.
- Baja pérdida de carga o altura en los proyectos.

2.8. Cámara de carga.

La función principal de la cámara de carga es abastecer de agua a la tubería de presión de la central hidroeléctrica. Sirve como vaso regulador, almacenando temporalmente agua cuando se reduce la carga en la central y proporciona agua para los incrementos iniciales de una carga mayor, conforme el agua en el canal va siendo acelerada. También absorbe las sobrepresiones por golpe de ariete que podrían presentarse en tuberías largas.

Debe constar de las siguientes partes:

- Vaso de almacenamiento.
- Obra de toma.
- Vertedero de demasías.
- Rejillas de entrada.
- Desagüe de limpieza.

El diseño de la cámara⁴ sigue exactamente el procedimiento esbozado para los desarenadores excepto para la sección de salida que es reemplazada por la tubería de presión. En ocasiones se instala una válvula en la tubería contigua a la cámara de carga, para cerrar el flujo y permitir reparaciones en la misma.

⁴ Los cálculos para el diseño de la cámara de carga son presentados en el anexo A.

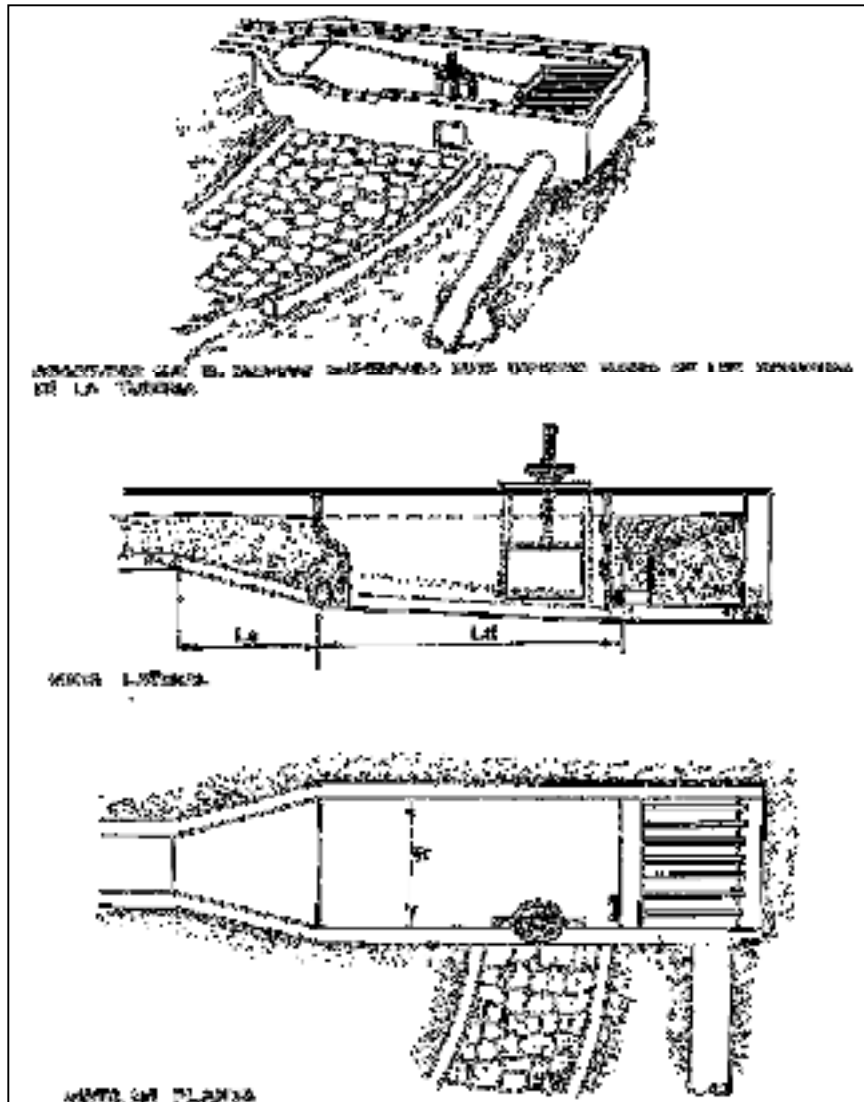


Fig. 8 Cámara de carga.

2.9. Canales.

Canal es todo cauce a cielo abierto o cerrado en el que puede circular por gravedad una corriente líquida (generalmente agua), presentando una superficie libre. Los canales de aducción y derivación deben ser dimensionados con el caudal de diseño de la central. El diseño del canal depende del caudal, el material del suelo y de construcción y la pendiente del sitio. Las secciones transversales comunes en canales son:

- Rectangular: Adecuada en terrenos firmes o canales revestidos, y para

- Trapecial: Adecuada en terrenos no firmes o canales revestidos, y para caudales grandes.
- La sección Triangular no se emplea por su baja capacidad hidráulica.
- Circular o Herradura: Se utiliza en túneles.

Las tuberías de presión son aquellas que trabajan a sección llena y a presión. Usualmente unen el tanque de carga con la turbina o bien la obra de toma en la derivación con la turbina. Por lo general consiste en una línea de tuberías con tramos en serie, de igual o diferentes diámetros y espesores, que tienen una válvula al final de la tubería. La tubería se adapta al perfil del terreno con pendientes similares al mismo, por lo que en su longitud pueden tener uno o varios cambios de dirección, ya sean horizontales o verticales, formando codos.



2.10.1. Pautas para seleccionar una tubería de presión.

- Considerar las diferentes clases de material disponible, tipos de uniones, comparar formas y costos de mantenimiento, también los diámetros de tubería y los espesores de paredes disponibles.
- Calcular la probable sobrepresión adicional (golpe de ariete) y sumarla a la presión estática en la determinación de los espesores de pared para los tamaños de tubería escogidos.
- Diseñar los soportes, anclajes y uniones para la tubería de presión.
- Preparar información de las opciones calculando el costo total de cada una (disponibilidad en el mercado).
- La selección del diámetro se hará tratando de obtener el menor costo y las menores pérdidas de energía.

2.10.2. Para considerar de qué tipo de material será la tubería:

- Presión de diseño.
- Peso y grado de dificultad de la instalación.
- Accesibilidad al sitio.
- Terreno y tipo de suelo.
- Mantenimiento y vida esperada de la instalación.
- Condiciones climáticas.
- Disponibilidad.
- Costo.

2.10.3. Materiales:

- Acero comercial.
- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno de alta densidad.
- Hierro dúctil centrifugado.
- Resina poliéster con fibra de vidrio reforzado.

2.10.4. Uniones de tubería de presión.

Las tuberías, por lo general, vienen en longitudes estándar y deben ser unidas en el sitio. Hay muchas maneras de hacerlo. Al escoger un método de unión para un sistema determinado, hay que considerar los siguientes aspectos:

- Adecuación al material de tubería seleccionado.
- Grado de destreza del personal que instala las tuberías.
- Grado de flexibilidad requerido en las uniones.
- Costos relativos.
- Grado de dificultad de la instalación.

Los tipos de uniones de tuberías pueden clasificarse en 4 categorías:

- Embridada.
- Espiga y campana.
- Mecánica.
- Soldada.

Uniones con bridas (embridada).

Al fabricar las tuberías individuales se colocan bridas en sus extremos y después cada una de las bridas es empernada a la otra durante la instalación. Se necesita poner una empaquetadura de caucho entre cada par de bridas. Las tuberías unidas con bridas son fáciles de instalar, pero estas pueden aumentar el costo de la tubería.

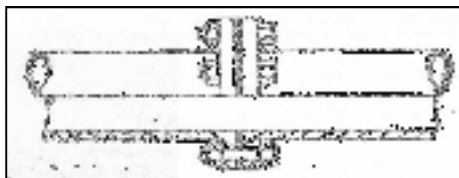


Fig. 10 Unión con bridas.

Espiga y campana.

Las uniones de espiga y campana vienen preparadas de fábrica, de manera que el diámetro interno de la campana es igual al diámetro externo de la tubería.

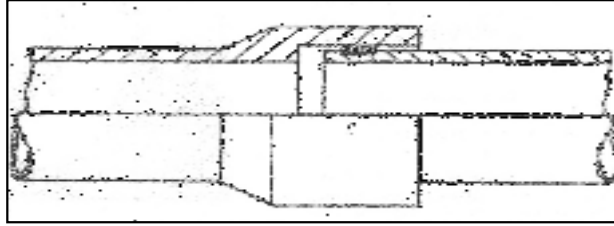


Fig. 11 Unión con espiga y campana.

Uniones mecánicas.

Las uniones mecánicas rara vez son usadas en tuberías de presión debido a su costo, su principal aplicación es para unir tuberías de diferente material (PVC y acero), o cuando se necesita una ligera deflexión en una tubería que no garantiza la colocación de un codo.

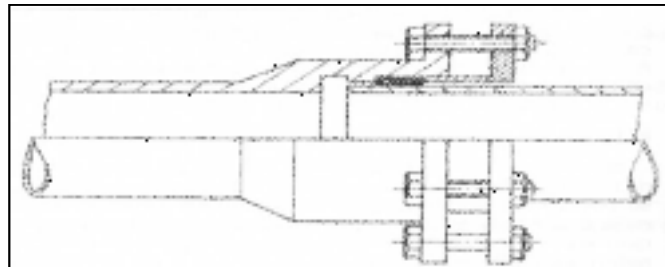


Fig. 12 Unión mecánica.

Uniones soldadas.

Se emplea uniones soldadas en tuberías de acero y apelando a técnicas especiales en el caso del polietileno. Se trata de un método relativamente barato, pero tiene la desventaja de que requiere personal especializado, sin contar con los problemas que representa llevar un soldador de arco y una fuente de energía a un terreno remoto y de difícil acceso.

Juntas de expansión.

En las tuberías de presión de acero debe haber juntas de expansión o dilatación, para evitar que se formen grandes esfuerzos en la misma por dilatación o contracción térmica.

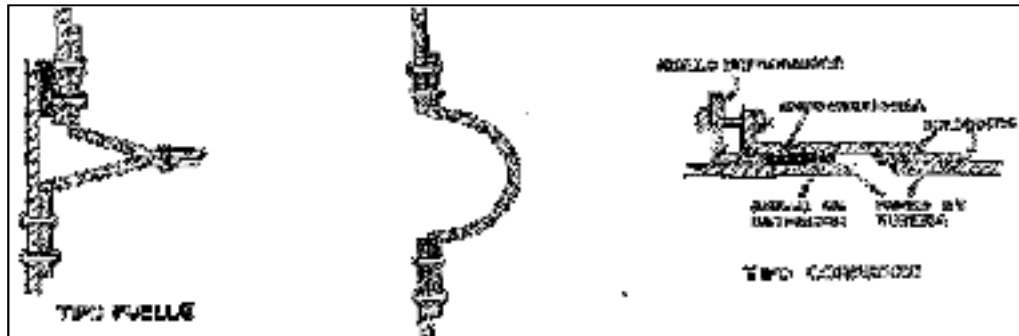


Fig. 13 Juntas de expansión.

2.10.5. Válvulas.

Las válvulas controlan el paso del agua en la tubería de presión y las hay de diferentes tipos. Para el caso de las Microcentrales Hidroeléctricas nos limitaremos tan solo a las válvulas de compuerta y de mariposa, de estas dos, las de compuerta son las más usadas.

Por lo general estas válvulas están instaladas inmediatamente antes de la turbina, pero en ciertos casos se encuentran a la entrada de la tubería de presión.

Válvula de compuerta.

La válvula de compuerta es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cuál puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.



Fig. 14 Válvula de compuerta.

Ventajas:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

Válvula de mariposa.

Una válvula de mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada mariposa, que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.



Fig. 15 Válvula de mariposa.

En el ámbito de las válvulas para uso en hidráulica, se distinguen por las siguientes características:

- Están en todos los casos contenidas al interior de la tubería.
- Tienen una baja pérdida de carga cuando están totalmente abiertas.
- La relación entre el área de paso y el ángulo de giro de la mariposa no es lineal.

Hay que distinguir básicamente dos tipos de válvulas de mariposa:

- Válvulas de mariposa de eje centrado.
- Válvulas de mariposa de eje descentrado.

Las de eje centrado tienen el cuerpo totalmente recubierto de un elastómero, y tienen la ventaja que éste está protegido ante la posible corrosión del fluido vehiculado, además de ser bidireccionales.

Las de eje descentrado se utilizan sobre todo en industria petroquímica puesto que para servicios de agua convencionales no están recomendadas. Sin embargo pueden hacer cierres con seguridad fuego (metal-metal) o utilizarse en servicios de regasificación (-200°C), estas necesidades con las de eje centrado no se pueden cubrir.

2.10.6. Anclajes y apoyos en tubería de presión.

Los pilares de soporte, los anclajes y los bloques de empuje cumplen la misma función básica, dar el peso necesario para contrarrestar las fuerzas de los fluidos que podrían hacer que la tubería se mueva y corra el riesgo de romperse.

El soporte de tubería contrarresta el peso de esta y del agua que contiene. Los anclajes sirven para mantener en tierra a la tubería, así como para fijarla y evitar los movimientos laterales. El bloque de empuje se usa en codos de tuberías enterradas a fin de transmitir las fuerzas a la tierra circundante.

Los apoyos o soportes deben construirse de manera tal que permitan el movimiento longitudinal de la tubería al contraerse o dilatarse debido a cambios de temperatura.

Los soportes deben ser contruidos sobre suelo firme y no en un relleno. La superficie de contacto del apoyo con el suelo de cimentación debe estar calculada para soportar el peso sin exceder el límite de capacidad de resistencia del suelo. Además es necesario hacer canaletas de drenaje a lo largo de la tubería para evitar la erosión de los cimientos de los soportes.

También hay que calcular el espaciamiento entre los soportes de una tubería a fin de que esta no se fracture o flexione excesivamente.

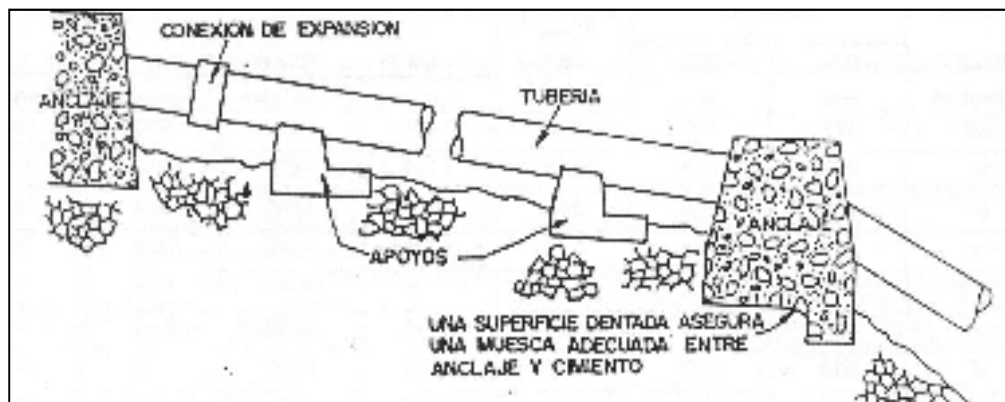


Fig. 16 Anclajes y apoyos.

2.10.7. Válvulas de aire.

Son válvulas cuya función es permitir el ingreso de aire al interior de la tubería de presión, cuando se presentan presiones negativas en ésta, evitando así su colapso.

3. CASA DE MÁQUINAS Y SUS COMPONENTES.

3.1. Turbina.

Una turbina hidráulica es una turbomáquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, así son el órgano fundamental de una central hidroeléctrica.

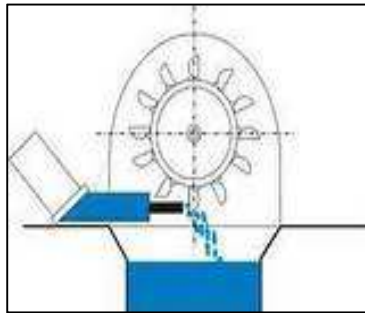


Fig.17 Turbina Hidráulica.

3.2. Clasificación de las turbinas.

Por ser turbomáquinas siguen la misma clasificación de estas, y pertenecen, obviamente, al subgrupo de las turbomáquinas hidráulicas y al subgrupo de las turbomáquinas motoras. En el lenguaje común de las turbinas hidráulicas se suele hablar en función de las siguientes clasificaciones:

1. De acuerdo al cambio de presión en el rodete o al grado de reacción:

- Turbinas de acción: Son aquellas en las que el fluido de trabajo no sufre un cambio de presión importante en su paso a través del rodete.
- Turbinas de reacción: Son aquellas en las que el fluido de trabajo si sufre un cambio de presión importante en su paso a través del rodete.

Para clasificar a una turbina dentro de esta categoría se requiere calcular el grado de reacción de la misma. Las turbinas de acción aprovechan únicamente

la velocidad del flujo de agua, mientras que las de reacción aprovechan además la pérdida de presión que se produce en su interior.

2. De acuerdo al diseño del rodete:

Esta clasificación es la más determinista, ya que entre las distintas de cada género las diferencias sólo pueden ser de tamaño, ángulo de los álabes o cangilones, o de otras partes de la turbomáquina distinta al rodete. Los tipos más importantes son:

Turbina Kaplan. Son turbinas axiales, que tienen la particularidad de poder variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua pequeños y con grandes caudales. (Turbina de reacción).

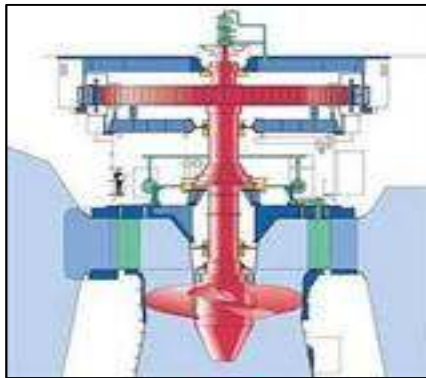


Fig. 18 Turbina Kaplan.

Turbina Hélice. Son exactamente iguales a las turbinas Kaplan, pero a diferencia de estas, no son capaces de variar el ángulo de sus palas.

Turbina Pelton. Son turbinas de flujo transversal, y de admisión parcial. Directamente de la evolución de los antiguos molinos de agua, y en vez de contar con palas se dice que tiene cucharas. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua muy grandes, pero con caudales pequeños. (Turbina de acción).



Fig. 19 Turbina Pelton.

Turbina Francis. Son turbinas de flujo mixto y de reacción. Existen algunos diseños complejos que son capaces de variar el ángulo de sus álabes durante su funcionamiento. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua medios y caudal medios.



Fig. 20 Turbina Francis.

Turbina Ossberger / Banki / Michell. La turbina Michell Banki es una turbina de libre desviación, de admisión radial y parcial. Debido a su número específico de revoluciones esta entre las turbinas de régimen lento. El distribuidor imprime al chorro de agua una sección rectangular, y éste circula por la corona de paletas del rodete en forma de cilindro, primero desde fuera hacia dentro y, a continuación, después de haber pasado por el interior del rodete, desde dentro hacia fuera.

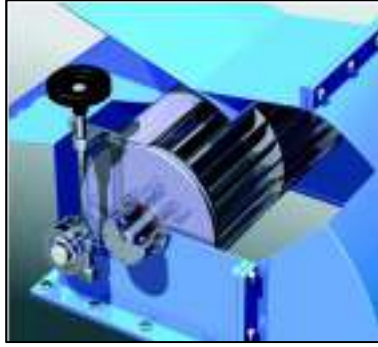


Fig. 21 Turbina Michell Banki.

3.3. Partes de la turbina.

Distribuidor. El distribuidor es un elemento estático que está constituido por uno o varios equipos de inyección de agua. Cada uno de dichos equipos, formado por determinados elementos mecánicos, tiene como misión dirigir, convenientemente, un chorro de agua, cilíndrico y de sección uniforme, que se proyecta sobre el rodete, así como también, regular el caudal preciso que ha de fluir hacia dicho rodete, llegando a cortarlo totalmente cuando proceda.

El rodete. Es el órgano fundamental de las turbinas hidráulicas, consta esencialmente de un disco provisto de un sistema de alabes, paletas o cucharas, que está animado por una cierta velocidad angular.

La transformación de la energía hidráulica del salto en energía mecánica se produce en el rodete, mediante la aceleración y desviación, o por simple desviación del flujo de agua a su paso por los alabes.

Carcasa. Este elemento tiene la función general de cubrir y soportar las partes de la turbina.

3.4. Regulación de la velocidad.

Los sistemas que operan a velocidad constante están representados típicamente por aquellas microcentrales hidroeléctricas que suministran electricidad en corriente alterna.

Estos sistemas requieren de una operación a velocidad constante para no dañar el generador eléctrico ni los equipos y máquinas que utilizan esta energía.

Dado que la frecuencia de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la velocidad de giro del alternador, una variación en la velocidad de giro se traduce en una variación en la frecuencia del sistema eléctrico, que debe tener un valor de 50 o 60 Hertz según el país.

En aquellas Centrales Hidroeléctricas que no tienen un sistema de regulación de velocidad, una variación en la demanda de energía inmediatamente producirá un cambio en la velocidad de giro de la turbina. Por lo tanto, el alternador empezará a girar a otra velocidad diferente de la velocidad síncrona, con la consecuente variación en la frecuencia y en el voltaje de la línea.

Por ello, cuando se prevé que en el sistema existirán continuamente variaciones en la demanda, es necesario instalar algún sistema de compensación que mantenga constante la velocidad de la turbina. Existen básicamente dos maneras de controlar la velocidad del grupo generador:

- Por regulación del caudal de agua en la turbina.
- Por regulación de carga.

3.4.1. Regulación de velocidad por medio del caudal de agua en la turbina.

Para obtener una velocidad constante del grupo generador, existiendo una demanda variable, es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador, deba ser igual a la potencia eléctrica a la salida de este, más las pérdidas internas del grupo.

Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina, de tal manera que si se produjera un aumento en la demanda, se abrirá una válvula que permite el mayor ingreso de agua a la turbina ocasionando que la potencia generada se iguale a la demanda.

Existen dos maneras de realizar esta regulación:

- Manualmente.
- Automáticamente.

Regulación manual.

Este sistema de regulación se emplea en aquellos sistemas donde no existen grandes fluctuaciones en la demanda de energía.

Para utilizar este sistema se requiere de un operador en la casa de fuerza, que esté atento a las variaciones en la frecuencia del sistema y que compense estas variaciones haciendo variar el caudal de agua en la turbina. La variación del caudal se realiza por medio de la válvula de aguja o alabes directrices, según el tipo de turbina empleada.

Regulación automática.

La regulación automática de la velocidad por regulación del caudal proporciona un sistema con frecuencia y voltajes estables. Este sistema se emplea cuando se prevé que en el sistema eléctrico existirán grandes fluctuaciones instantáneas en la demanda.

Este tipo de regulación utiliza los llamados reguladores de velocidad oleomecánicos y sus variaciones tales como los taquimétricos electro-mecánicos y electro-hidráulicos, entre otros.

Elementos principales de los reguladores oleomecánicos:

- Péndulo.
- Bomba de aceite.
- Válvula de distribución del aceite.
- Servomotor.

3.4.2. Regulación de la velocidad por regulación de carga.

En los sistemas de regulación de carga el grupo generador entrega una potencia constante; esto es, no hay regulación de caudal de agua. No obstante, debe

cuidarse que el grupo genere una potencia mayor o igual a la máxima potencia esperada en la demanda. El exceso de potencia generada se disipa en forma de calor a través de resistencia sumergida en agua o aire.

Esta regulación también se puede realizar de la siguiente manera:

- Manual.
- Automática.

Regulación manual de carga.

Se requiere básicamente tener un banco de resistencias que el operador ira conectando o desconectando según se aumente o disminuya la frecuencia en la red eléctrica.

Regulación automática de carga.

En este sistema el alternador produce una potencia constante y el regulador electrónico de carga, a través de unas válvulas electrónicas conocidas como tristores, deriva la energía no consumida por la demanda a un sistema de disipación de energía.

Los reguladores electrónicos de carga se componen básicamente de cuatro unidades:

- Fuente de poder.
- Unidad de control y protección.
- Unidad de potencia.

3.5. Sistema de transmisión de potencia mecánica.

En una Microcentral Hidroeléctrica, se produce una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica en la turbina, y de energía mecánica a energía eléctrica en el generador.

En el caso de sistemas de corriente alterna, a una frecuencia de 60 Hz, se dispone de generadores con velocidades de 3600, 1800, 1200, 900 rpm y

La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete, por eso en las microcentrales hidroeléctricas se emplea rodetes con dimensiones estándares, en consecuencia, la velocidad de operación, para las condiciones de caída neta y caudal disponible, rara vez coincide con la de los generadores, por esta razón debe emplearse sistemas de transmisión de potencia mecánica entre la turbina y el generador.

En todo sistema de transmisión de movimiento y potencia mecánica se pueden distinguir fundamentalmente dos tipos de elementos:

- De una manera más específica los elementos mecánicos involucrados en una transmisión serán:

-

INGENIERÍA MECÁNICA

3.5.2. Tipos de transmisiones.

Transmisiones flexibles por fajas, que pueden ser:

- Planas.
- Trapezoidales o en V.
- Dentadas.

Transmisiones flexibles por cadenas de rodillos, que pueden ser:

- Simples.
- Múltiples.

Transmisiones por ruedas de fricción, que pueden ser:

- Cilíndricas de ejes paralelos.
- Cilíndricas de ejes transversales.
- Cónicas.

Transmisiones por engranajes, que pueden ser:

- Cilíndricas de dientes rectos.
- Cilíndricas de dientes helicoidales.
- Cónicos de dientes rectos.
- Cónicos de dientes espirales.
- Tornillo sin fin rueda dentada.

3.5.3. Ejes.

Los ejes son elementos indispensables en todo sistema de transmisión de potencia. El eje está rígidamente unido al rotor o rodete y situado adecuadamente sobre cojinetes, transmite el movimiento de rotación al eje generador. Debe tener las geometrías necesarias para que puedan ser montados los rodamientos y demás elementos que son necesarios en una turbina hidráulica.

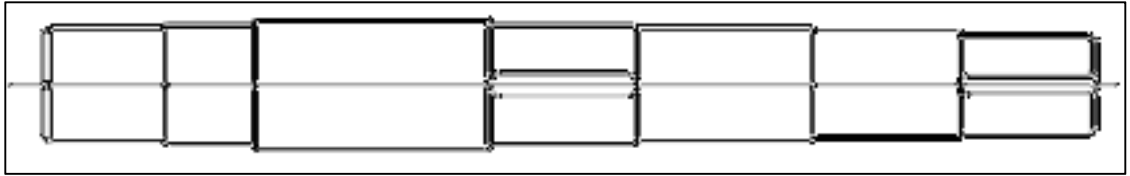


Fig. 23 Eje.

3.5.4. Acoplamientos.

Los acoplamientos son elementos mecánicos que se emplean para unir dos ejes consecutivos en movimiento. En el caso de Microcentrales Hidroeléctricas, se emplean para unir directamente la turbina con el generador, en caso les corresponda la misma velocidad nominal, o para unir el eje del generador con el eje de la potencia conducida.



Fig. 24 Acoplamiento de cadena.



Fig. 25 Acoplamiento de cruz.



Fig. 26 Acoplamiento de disco.

Existen dos tipos de acoplamientos: rígidos y flexibles. Los acoplamientos rígidos se emplean cuando se puede garantizar un buen alineamiento de los ejes y cuando no se presentan grandes cargas transversales en ellos. Los acoplamientos flexibles se emplean cuando no se puede obtener el alineamiento

exacto y permanente debido a efectos de fabricación, deformaciones por cargas de servicio, influencia en la temperatura, defectos en el cimiento o el montaje.

3.5.5. Cojinetes.

Los cojinetes son elementos que permiten soportar a los ejes en movimientos, constituyendo elementos intermedios entre un cuerpo en movimiento (eje) y otro fijo (soporte) ligado a la estructura de la máquina. En el contacto entre ejes y cojinetes, forzosamente se producirá rozamiento y pérdidas de potencia en forma de calor; lo importante de las formas constructivas de los cojinetes es que permitirán que las pérdidas por rozamientos sean pequeñas.

Existen dos tipos de cojinetes que corresponden a los dos tipos de rozamientos conocidos: los cojinetes de deslizamiento y los cojinetes de rodamientos.

3.6. Generadores eléctricos.

Los generadores eléctricos para estas aplicaciones son máquinas eléctricas rotativas que se acoplan directamente o indirectamente a los rodets de las turbinas y así conjuntamente producen energía eléctrica. Los tipos de generadores eléctricos son:

- Generador de corriente continua.
- Generador síncrono.
- Generadores de inducción o asíncronos (motores como generadores).

3.6.1. Componentes de los generadores eléctricos.

Circuito magnético. De manera semejante a un fluido, el flujo magnético se transporta por un conductor que se caracteriza por mínimas pérdidas de flujo y de energía impulsora.

Circuito eléctrico. Está formado por las bobinas y las conexiones de estas, por donde circula la corriente eléctrica. La conexión de un conductor estático a otro rotativo se hace con las escobillas que son de carbón grafitado como elemento

estático, y el colector que se monta sobre el eje giratorio.

Aislamiento del circuito dieléctrico y térmico. El aislamiento eléctrico impide el paso de corriente eléctrica de un conductor a otro. Se encuentra en un generador en:

- El esmalte que cubren al alambre de cobre de las bobinas.
- Las láminas aislantes que separan las bobinas.
- Las láminas aislantes que separan los conductores de cobre de los núcleos de hierro.
- Los barnices que recubren y dan adherencia mecánica a los bobinados.

Según el material usado como aislante, se dimensiona la temperatura de trabajo del generador y, con ello, la capacidad y periodo de uso de la máquina.

Sistema de enfriamiento. En este tamaño de generadores es usual el empleo de aire forzado con ventiladores montados sobre el mismo eje de la máquina para realizar el enfriamiento.

Soporte mecánico:

- Carcasa.
- Soporte de cojinetes.
- Cojinetes.
- Eje de accionamiento.

3.6.2. Elementos de control y protección de la generación.

Instrumentos de medición. Se necesita controlar y conocer los valores de la tensión, corriente y potencia que son producidos por los generadores y absorbidos por los circuitos.

- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Vatímetro.
- Frecuencímetro.

- Auxiliares de control y protección:
 - ✓ Transformador de tensión para medición.
 - ✓ Transformador de corriente.

Seccionamiento. Son los elementos de conexión y desconexión del generador hacia los receptores, en pequeñas centrales hidroeléctricas, se pueden usar los siguientes métodos:

- Seccionador y fusible.
- Contactor y fusible.
- Interruptor termomagnético.

Relés de protección. Estos elementos protegen al generador actuando sobre la bobina de disparo del contactor o del interruptor. También protegen al resto del equipo cuando existen bobinas de comando eléctrico para el cierre de la válvula y/o la parada del regulador de velocidad de la turbina.

- Relé de sobrecorriente o relé térmico.
- Relé de sobrefrecuencia.
- Relé de mínima tensión.
- Relé de sobretensión.
- Relé de potencia inversa.

Tableros o paneles. Son las cajas metálicas que contienen los instrumentos de medición y las palancas de seccionamiento; y en su interior a los elementos de control, protección y el cableado de interconexión, para así evitar el contacto de las personas con las partes con tensión e impedir el ingreso de polvo, humedad u objetos extraños.

Otras protecciones.

- Protección diferencial a tierra.
- Pararrayos.
- Puesta a tierra.

3.7. Canal de descarga.

Después que el agua ha cumplido su función de entregar la mayoría de energía potencial (presión), esta debe ser descargada de nuevo al río. Existen centrales donde su descarga es directa hacia el río. Otras Microcentrales Hidroeléctricas descargan direccionando este flujo con tuberías (distancia corta al río); sin embargo, cuando el río está relativamente retirado de la casa de máquinas, se hace un canal similar al de alimentación.

Las dimensiones de este canal deben ser tales que no existan demasiada turbulencia ni rebalse. Su material y refuerzo de construcción pueden ser las mismas que la del canal de entrada.

4. MANTENIMIENTO.

La implementación de Microcentrales Hidroeléctricas conlleva la inversión de capital, a fin de recuperar este capital la Microcentral Hidroeléctrica todo el tiempo debe generar energía eléctrica motivo por el cual fue diseñada, a esto debe restarse el tiempo programado de paradas por motivos diversos, incluyéndose el tiempo de mantenimiento.

Esto es posible sólo con una adecuada operación del sistema y un programa de mantenimiento bien planificado que efectivamente sea llevado a la práctica.

Las consecuencias de una inadecuada operación y desatención del mantenimiento devienen en una serie de problemas relacionados directamente con el estado del equipo electromecánico y también en pérdidas económicas, por energía dejada de producir y por costos imprevistos de reposición y/o reparación de piezas.

4.1. Concepto.

El mantenimiento son todas las acciones que tienen como objetivo mantener la funcionalidad del sistema durante su vida operativa. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

4.2. Finalidad del mantenimiento.

Conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de producción.

4.3. Objetivos del mantenimiento.

El diseño e implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior informatización debe siempre tener presente que está al servicio de unos

determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

4.4 Tipos de mantenimiento.

En las operaciones de mantenimiento podemos diferenciar las siguientes definiciones:

Mantenimiento de conservación. Es el destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:

- **Mantenimiento correctivo:** que corrige los defectos o averías observados.
- **Mantenimiento correctivo inmediato:** es el que se realiza inmediatamente al percibir la avería y defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
- **Mantenimiento correctivo diferido:** al producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.
- **Mantenimiento preventivo:** como el destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por deterioro. En el mantenimiento preventivo podemos ver:
 - ✓ **Mantenimiento programado:** como el que se realiza por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.

- ✓ **Mantenimiento predictivo:** que realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedará fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.
- ✓ **Mantenimiento de oportunidad:** que es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

Mantenimiento de actualización. Cuyo propósito es compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias, que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad si tienen que serlo.

4.5. Planificación del mantenimiento.

La planificación es el proceso metódico diseñado para obtener un objetivo determinado. En el sentido más universal, implica tener uno o varios objetivos a realizar junto con las acciones requeridas para concluirse exitosamente.

Planteando todas las actividades de mantenimiento que deben de ejecutarse paso a paso en periodos de tiempo establecidos de manera que el mantenimiento sea lo más óptimo posible.

4.6. Análisis de fallas.

El análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa o raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto. El análisis de falla está diseñado para:

- Identificar los modos de falla (la forma de fallar del producto o pieza).
- Identificar el mecanismo de falla (el fenómeno físico involucrado en la falla).

- Determinar la causa raíz (el diseño, defecto, o cargas que llevaron a la falla).
- Recomendar métodos de prevención de la falla.

Causas comunes de falla:

- Mal uso o abuso.
- Errores de montaje.
- Errores de fabricación.
- Mantenimiento inadecuado.
- Errores de diseño.
- Material inadecuado.
- Tratamientos térmicos incorrectos.
- Condiciones no previstas de operación.
- Inadecuado control o protección ambiental.
- Discontinuidades de colada.
- Defectos de soldadura.
- Defectos de forja.

4.7. Toma de decisiones.

La toma de decisiones se lleva a cabo a partir de un análisis de fallas, permitiendo establecer un plan de mantenimiento con acciones bien diseñadas para evitar su impacto tanto económico como productivo.

5. DIAGNÓSTICOS DE LAS MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

5.1. Metodología empleada para diagnóstico de las Microcentrales Hidroeléctricas.

La metodología empleada para hacer dicho estudio fue a través de un diagnóstico general realizado a las Microcentrales Hidroeléctricas, mediante visitas de campo en las que se pudo inspeccionar el estado actual en el que se encuentran los diferentes componentes que forman las Microcentrales Hidroeléctricas.

Debido a la similitud de las Microcentrales Hidroeléctricas, en nuestro diagnóstico sólo tomaremos en cuenta las siguientes Microcentrales:

- Microcentral Hidroeléctrica Malacatoya.
- Microcentral Hidroeléctrica El Roblar
- Microcentral Hidroeléctrica El Plan.

Dichas Microcentrales se encuentran ubicadas en los municipios San José de los Remates y Santa Lucía, del Departamento de Boaco, se seleccionaron estas Microcentrales Hidroeléctricas debido a las variaciones que presentan en su diseño, tanto en obras civiles como equipo electromecánico, por lo que consideramos suficiente información para realizar nuestro estudio y abarcar todas las Microcentrales Hidroeléctricas.

5.2. Diagnóstico de Microcentral Hidroeléctrica Malacatoya.

La Microcentral Hidroeléctrica Malacatoya está ubicada en la comunidad de Malacatoya que pertenece al municipio San José de los Remates, esta microcentral fue diseñada para generar 11KW beneficiando a 32 viviendas con un total de 176 personas, fortaleciendo la capacidad productiva mediante la generación de electricidad. Las diferentes partes que componen la MCH “Malacatoya” serán expuestas, detalladas y analizadas para poder realizar el diagnóstico.

5.2.1. Obra de toma de agua.

La MCH retiene el agua de dos arroyos que desembocan en el río Malacatoya, por medio de una pequeña presa construida de concreto, reforzado con rocas y un armazón metálico, con dimensiones de 8 m de longitud por 1.30 m de altura, con un caudal de 30 lts/s.



Fig. 27 Presa de MCH Malacatoya.

La toma de agua esta provista de dos rejillas improvisadas artesanalmente de un barril plástico agujereado, el cual retiene los sólidos en suspensión. La rejilla tiene espacios muy abiertos, si bien logra detener grandes desechos, los pequeños escapan.



Fig. 28 Rejilla artesanal de plástico.

Durante épocas de invierno la sedimentación es continua en el trayecto del río por lo que el cauce natural del río está amenazando con desviarse a una distancia aproximada de unos 30 metros antes de llegar a la presa con lo que de producirse este fenómeno provocaría el socavamiento de la presa y la disminución del caudal lo que conllevaría al paro completo de la MCH.

La MCH no cuenta con compuertas, sino que se improvisa de una forma no muy segura para labores de limpieza, principalmente en la cámara de carga.

Esta forma improvisada en la cámara de carga consiste en colocar plásticos sobre la rejilla de la cámara de carga y luego colocan un fondo de barril sin agujeros sobre el plástico y el filtro para que este actúe como tapón gracias a la presión que ejerce el agua sobre ellos, y a continuación vacían la cámara de carga y su respectiva limpieza. Es una forma peligrosa y no adecuada para vaciar la cámara de carga pues existen rebalses alrededor del canal que erosionan el suelo y no es seguro durante las labores de limpieza.

5.2.2. Cámara de carga y Desarenador.

La MCH no posee un desarenador aparte. La cámara de carga posee un filtro de estructura de plástico para evitar que se introduzcan sedimentos a la tubería de presión que puedan provocar daño en la turbina u obstruir el flujo de agua en la tubería, durante épocas de invierno, la cámara de carga no tiene las dimensiones adecuadas para soportar todo el caudal que el río entrega y esta rebalsa a los alrededores, sin embargo el problema se debe también a la falta de compuertas que puedan regular el caudal (tanto en la toma de agua como en el recorrido del río y antes de la misma cámara de carga).



Fig. 29 Cámara de carga de MCH Malacatoya.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta en la cámara de carga es la rapidez con que se acumulan desperdicios y/o contaminantes que hacen tapar la rejilla de la cámara de carga debido a la falta de desarenador, el tipo de rejilla utilizada y la falta de regulación del caudal.

5.2.3. Tubería de presión.

La tubería de presión está a una altura de 27 metros aproximadamente sobre la descarga a la turbina. Iniciando con un tubo de PVC de 203.2 mm de diámetro (8 pulgadas) NOVAFORT de Amanco (corrugado) de 100 metros de longitud aproximadamente, seguido a este se encuentra un tramo de tubería con cédula SDR 41 de 146 m de longitud. La recta final de la tubería hacia la turbina se reduce a un pequeño tramo de 152.4 mm de diámetro (6 pulgadas) con cédula SDR 26 y reduciéndose a 4 pulgadas a la entrada de la turbina. En su trayecto no tiene una válvula de alivio. Al final del recorrido cuenta con una válvula principal la que le permite cortar el flujo de agua que entra a la turbina directamente.



Fig. 30 Tubería de presión de MCH Malacatoya.

Cabe también destacar que en el transcurso de la línea de conducción se constataron fugas de agua en los reductores y pequeñas averías en las tuberías así como también pequeñas fugas en la entrada a la casa de máquinas.

Debido al terreno, la tubería no se encuentra enterrada, la tubería sale de la presa sobre un muro de concreto, luego sale de este aéreamente siendo mantenida firmemente por anclajes que están situados cada 3 m y luego de unos metros aumenta su separación a 4.80 m hasta que la tubería toma el nivel descendente del suelo siendo fijados en algunos puntos hasta llegar a la casa de máquinas.

5.2.4. Casa de máquinas.

La casa de máquinas es una pequeña edificación de paredes de concreto, vigas de concreto reforzado con varillas de hierro, presenta 2 ventanas de hierro y un portón de hierro de 2 hojas, piso embaldosado, paredes repelladas y su respectivo techo.

En la casa de máquinas se encuentra situado el grupo turbo-generator de la MCH, que consta de una turbina Pelton de alabes separados (por si es necesario el reemplazo de un alabe), turbina de un solo inyector con aguja reguladora, con un rodete de bronce de 600 mm de diámetro, de eje horizontal, carcasa fabricada con acero A-32, protegida con pintura de cromato de zinc (base) y pintura epóxica (acabado) y un generador de 11 KW.



Fig. 31 Turbina Pelton de MCH Malacatoya.

En general la turbina se encuentra en buen estado con pocas vibraciones y una transmisión silenciosa.

5.2.5. Sistema de regulación de velocidad.

En las instalaciones de la central, se observó que cuenta con todos los sistemas para funcionar correctamente, no obstante presenta una falla en el sistema de paro de emergencia, por lo cual lo tienen que hacer de forma manual, debido a que el muelle utilizado ha perdido su elasticidad, la MCH implementa un sistema de regulación por caudal, cuando se produce una variación de la frecuencia, debido al aumento o disminución de la demanda de energía, se produce la variación en el sensor de proximidad y este envía una orden al contactor, el cual enciende el motor para hacer funcionar el sistema hidráulico controlando el paso de agua a la turbina a través de la aguja de regulación.

Además la turbina cuenta con una resistencia de 1500W, que se encuentra ubicada debajo de la base de la turbina donde disipa la energía producida por el exceso de carga, esta resistencia es enfriada por el agua turbinada, la cual funciona correctamente. Esta resistencia es un complemento más en el sistema, evitando que se produzcan variaciones de voltaje y frecuencia mientras el sistema de regulación realiza su función.

5.2.6. Sistema de transmisión de potencia.

La MCH utiliza el modo de transmisión de potencia más común en las MCH, mediante bandas en V y poleas. Es una transmisión muy sencilla y económica, la cual le permite a la turbina trabajar de forma muy silenciosa y suave debido a la fricción entre la polea y la faja, que le permiten al eje funcionar sin sobrecargas. La MCH opera con 2 bandas tipo B 96, el tipo de rodamientos usados son chumaceras bipartidas de doble carril, de rodillos cilíndricos, el diámetro del eje es 2 ½ pulgadas (63.5mm).



Fig. 32 Sistema de transmisión de potencia mecánica de MCH Malacatoya.

5.2.7. Generador Eléctrico.

El generador es síncrono marca OGI, LLC de 11 KW.

Tabla 2. Datos del generador eléctrico de MCH Malacatoya.

Generador.	Datos.
Tipo	QFW 164c
Potencia instalada	11 KW
Frecuencia	60 Hz
Tensión	220/440 V

Generador.	Datos.
Clasificación	S1
Tensión de excitación	45 V
IDNO	010001210
Velocidad de rotación	1800 rpm
Temperatura ambiente	40°C
Factor de potencia nominal	0.8
Aislamiento	Clase H

5.2.8. Canal de descarga.

El canal de descarga es un tubo de PVC de 4 pulgadas a través del cual el agua previamente utilizada en la turbina es devuelta al curso del río. Mide aproximadamente 4 metros de longitud que desemboca directamente sobre el cauce del río.

5.3. Diagnóstico de Microcentral Hidroeléctrica El Roblar.

La Microcentral Hidroeléctrica El Roblar está ubicada en la comarca El Roblar que pertenece al municipio San José de los Remates, comenzó a operar a finales del año 2009, esta MCH está diseñada para generar 17KW beneficiando a 32 viviendas.

5.3.1. Obra de toma de agua.

La presa construida tiene una longitud de 7 metros de largo, esta se ubica a lo ancho de la quebrada, presenta altura promedio de 1.4 metros, con un grosor de 0.34 metros, la pequeña presa esta reforzada con varillas de acero de 3/8", estas varillas van ubicadas de manera horizontal a lo largo de la presa, se utilizaron varillas de 1" puestas en forma vertical y enterradas en roca, ya que el terreno es rocoso, el concreto utilizado es de 3000 psi reforzado con el acero antes mencionado.



Fig. 33 Presa de MCH El Roblar.

5.3.2. Cámara de carga y Desarenador.

Para evitar la entrada de sedimentos a la tubería de conducción, se construyó un desarenador, con las siguientes medidas de 7.06 m de largo, 3.28 m de ancho y 1.41 m de alto, el desarenador está situado después de la presa, el agua acaparada por la presa antes de ingresar al desarenador pasa a través de una rejilla de hierro de 3/8" con una inclinación de 15° que sirve como filtro, de tal manera que no deja pasar basura que presente un tamaño superior al de la separación entre las varillas.

El agua sin basura pasa por la rejilla hacia el desarenador, esta agua en periodo de lluvias presenta un cierto grado de turbidez debido a los sedimentos arrastrados por las lluvias, dichos sedimentos quedan alojados en la parte baja del desarenador, la salida del desarenador hacia la línea de conducción está situada a una altura de 0.7 metros, y los sedimentos no pueden llegar hasta la entrada de la tubería de conducción, debido a que en el desarenador el agua proveniente de la presa pasa muy lentamente (mansa) logrando de esta manera que las partículas pesadas puedan quedar en la parte baja del desarenador.

En la salida del desarenador (entrada hacia la línea o tubería de conducción) se encuentra una parrilla de hierro de 1/4" que impide que algunas partículas livianas pequeñas puedan ingresar a la tubería.



Fig. 34 Desarenador y Cámara de carga de MCH El Roblar.

5.3.3. Tubería de presión.

La longitud inclinada desde la toma de agua hasta la casa de máquinas es 404 metros, la altura neta (desnivel) es 80 metros, la cédula de los tubos empleados varía en correspondencia con la altura, esto se debe a la presión máxima que pueden soportar los tubos PVC.



Fig. 35 Tubería de presión de MCH El Roblar.

El diámetro de toda esta tubería es de 6" PVC, y usaron 50 tubos de 6" PVC cédula SDR 41, y 17 tubos de 6" PVC cédula SDR 26. La tubería PVC SDR 41 resiste 100 PSI que son equivalente a 70 metros de altura, y usaron este tipo de tubería desde la salida del desarenador hasta llegar a una longitud de 300 metros, a esta distancia presentaban una altura (desnivel) de 70 metros.

Los otros 10 metros de altura corresponden a 104 metros de tubería PVC SDR 26; la tubería cédula 26 resiste hasta 160 PSI que equivalen a 112 metros. Los

números de cédula disponibles en el mercado local son: SDR 41, SDR 32.5, SDR 26 y SDR 17.

Al inicio o cerca de la presa, la tubería salió hacia la trayectoria de la turbina sobre el lecho del río, por tal razón presenta 6 anclas de concreto ciclope que se compone de rocas y concreto, estos soportan la tubería en un tramo de 20 metros. En dicho tramo la tubería fue pintada en color anaranjado para protegerla de los rayos del sol.

Para liberar cualquier molécula de aire que pueda haber ingresado en la tubería, se instaló una abrazadera de 6" con un diámetro de salida de $\frac{3}{4}$ ", pero dicha salida del aire fue sellada con un trozo de madera, esta acción le quita la protección a la tubería.

Luego la tubería pasa por un tramo de 10 metros en donde se apoya por unas anclas aéreas de 7 metros de altura, en los tramos antes mencionados la tubería no presenta gran presión ya que la altura desde la captación hasta dicho punto va en nivel descendente en una pequeña escala del 1%.

Después de los pases aéreos en los cuales se tuvo que anclar la tubería, esta fue enterrada, en esta trayectoria el perfil de la tubería presenta gran pendiente.

A la llegada de la casa de máquinas se construyó una base rectangular de concreto reforzado de 0.5 metros de ancho, por 2 metros de largo y una altura de 0.5 metros, la razón por la cual se construyó este refuerzo es porque a la llegada de la turbina la tubería presenta un cambio de dirección de 30°, este punto es el que presenta mayor presión y por tanto fue bien reforzado.

5.3.4. Casa de máquinas.

La casa de máquinas es de estructura compuesta por paredes de concreto, vigas de concreto reforzado con 4 varillas de hierro de $\frac{3}{8}$ " y cada esquina tiene zapatas que le dan fortaleza a la estructura, tiene una viga intermedia y una viga corona, presenta 2 ventanas de hierro de 1.2 m x 1.2 m, también tiene un portón

de hierro de 2 hojas con 2.2 metros de largo por 2 metros de alto.

Dentro de la casa de máquinas se encuentra una estructura de concreto reforzado con acero, en esta estructura va montada la turbina, tiene una altura de 0.6 metros, la longitud de la base es 1.5 metros y el ancho es 0.6 metros, el espesor de esta base es 0.2 metros. En la parte superior de la base se colocaron unos angulares con pernos para sujetar la estructura metálica de la turbina.

La turbina instalada es tipo Pelton con rodete de bronce con alabes separados, carcasa fabricada con acero A-32, lámina calibre 1/4" protegida con pintura de cromato de zinc como base y pintura epóxica como acabado, turbina de un inyector con aguja de regulación, con el diámetro de tobera que permite la descarga del caudal de diseño ($0.03\text{m}^3/\text{s}$) necesario para mover el rodete y transmitir energía mecánica a través de poleas hacia un generador. El diámetro del rodete es 260 mm, su velocidad de rotación es 1330 rpm. Turbina de eje horizontal.



Fig. 36 Turbina Pelton de MCH El Roblar.

5.3.5. Sistema de regulación de velocidad.

La MCH El Roblar utiliza el sistema de regulación de velocidad por caudal, el cual opera en buen estado, este sistema consiste en un sensor que envía la señal al controlador electrónico si aumenta o disminuye la demanda de energía eléctrica, y el controlador manda la orden al sistema hidráulico que controla el paso de agua a la turbina a través de la aguja de regulación.

También como complemento se utiliza un controlador de carga que está compuesto de una tarjeta electrónica con su respectivo protector, un lastre o juego de resistencia que disipa la energía de exceso.

5.3.6. Sistema de transmisión de potencia.

La MCH utiliza el modo de transmisión de potencia mediante una banda plana y poleas, transmitiendo el movimiento de rotación de la turbina al generador eléctrico, el sistema funciona en buenas condiciones. El tipo de rodamiento usado son 2 chumaceras bipartidas de doble carril, de rodillos cilíndricos y 2 chumaceras tipo brida, de rodamientos de bolas, el diámetro del eje es 2 pulgadas (50.8 mm).



Fig. 37 Sistema de transmisión de potencia mecánica de MCH El Roblar.

5.3.7. Generador Eléctrico.

El generador es síncrono marca Stamford trifásico de 24 KW de potencia con regulador de voltaje integrado.

Tabla 3. Datos del generador eléctrico de MCH El Roblar.

Generador.	Datos.
Tipo	Sincrónico sin escobilla, auto excitado, de magneto
Potencia instalada	24 KW
Potencia nominal aparente	30 kva
Frecuencia	60 Hz
N° de fases	3
Velocidad de rotación	1800 RPM
Sobre velocidad	± 9.8 %
Tensión	120/240 V
Factor de potencia nominal	0.8
Eficiencia	98.5 %
N° de polos	4
Operación	Continua
Rango de voltaje de ajuste	± 4.7%
Aislamiento	Clase H
Volumen de enfriamiento del aire	263 CFM
N° de rodamientos	Doble
Estator de excitación	Permanente
Controlador del generador	AVR AS480

5.3.8. Canal de descarga.

Existe un canal de desfogue que se encarga de llevar el agua que choca con la turbina hacia el lecho del río, este canal está construido por concreto revestido e inicia debajo de la carcasa de la turbina, luego el canal es conectado con un tubo PVC de 6" que se encarga de llevar el agua turbinada hacia la quebrada.

5.4. Diagnóstico de la Microcentral Hidroeléctrica El Plan.

La MCH El Plan se encuentra situada en la comunidad El Plan, que pertenece al municipio de Santa Lucía del departamento de Boaco, la cual se construyó con el fin de uso comunitario de tal forma que es la comunidad la encargada de operarla y mantenerla funcionando de forma correcta, la comunidad está compuesta por 25 familias y un total de 195 personas que se han beneficiado de este proyecto. El proyecto se diseñó para generar 8 KW con una altura de 195.42 m. La quebrada que se aprovecha para la generación de energía eléctrica, es un afluente del Río Malacatoya, nace 2 km aguas arriba del sitio donde está la obra de toma, a continuación se describirán las partes que conforman esta MCH y el estado en el que se encuentran.

5.4.1. Obra de toma de agua.

La presa se encuentra construida sobre un lugar de la quebrada donde el lecho es 100% roca sólida, condiciones que le brindan gran estabilidad, esta se encuentra anclada con varillas de hierro de 1" y reforzadas con varillas de 3/8", las que fueron llenadas con concreto de 3,000 psi, esta presa tiene una longitud de 7 m largo por 1 m de altura. La sedimentación en esta presa es poca debido al poco recorrido que tiene la quebrada desde su nacimiento, además el fondo de la quebrada en gran parte de su recorrido es roca sólida con lo cual disminuye la sedimentación sobre la presa.



Fig. 38 Presa de MCH El Plan.

5.4.2. Cámara de carga y Desarenador.

La MCH no posee desarenador aparte, en lugar del desarenador se utilizó una malla COANDA, la cual hace el trabajo del desarenador sirviendo como filtro evitando la entrada de sedimentos a la tubería, además esta MCH cuenta con un reservorio de agua de un tamaño considerable, el cual termina funcionando en parte como desarenador.

Las dimensiones del reservorio son 10 m de diámetro por 2.4 m de altura y un espesor de 8", con lo que se logra almacenar 188.5 m^3 o 49,800 galones de agua con lo que se logra un abastecimiento suficiente en épocas de verano, el reservorio cuenta con un filtro a la entrada de la tubería que conduce el agua a la casa de máquinas con lo que se evita que se introduzcan sólidos en suspensión que llegan al reservorio a través del aire o que son arrojados a él, además cuenta con una válvula que contiene cuatro posiciones que son abierto total, pequeño, medio y cerrado, que regulan el caudal de acuerdo a la demanda de agua que requiera la turbina.



Fig. 39 Reservorio de MCH El Plan.

5.4.3. Tubería de presión.

La tubería comienza en la toma de agua a una altura 195.42 m de la casa de máquinas, aproximadamente a unos 150 m de la presa se encuentra el reservorio, de ahí sale la tubería que se dirige hacia la casa de máquinas.

Esta línea de conducción se extiende sobre una distancia inclinada de 1263 m en los que se encuentran instalados diferentes tipos de tubos y cédulas, la mayoría de estos se encuentran subterráneos debido a las facilidades que brinda el terreno, no obstante se pudo comprobar que hay sectores del recorrido de la tubería que se encuentra superficial debido a irregularidades del terreno, paso de quebradas, y falta de colaboración por parte de un vecino que no quiso participar en el proyecto y por ende no otorgo permiso para que la tubería pasara por sus terrenos, esta vía era la ruta óptima para la tubería por lo que se tuvo que bordear y los terrenos adyacentes son pequeñas lomas que causan tubos reventados al pasar por estos puntos, además en los lugares donde pasan por quebradas; secas en verano, pasan aéreamente sobre anclajes y apoyos, los que en invierno son fuertemente dañados o golpeados por la corriente de agua y los sedimentos que arrastra. Lo que ocasiona daño en la tubería produciéndose pequeñas fugas o hendiduras de la tubería causando pérdidas.

La línea de conducción está dividida en 5 tramos diferentes de tubería, las cuales fueron ubicadas de acuerdo a la presión que soportarían, cabe destacar que el número de cédula de la tubería disminuye conforme baja la altura y aumentando la presión.

Los 5 tramos se distribuyen de la siguiente manera:

Inicia con una tubería de 6" SDR 41 desde la toma de agua hasta una distancia de 380 m esta tubería pasa por el reservorio, luego le sigue una tubería 6" SDR 32.5 con una longitud de 252 m, a continuación otro tramo de 154 m con tubería SDR 26, de forma seguida otro tramo de 427 m con cédula SDR 17 de 6", y para concluir una tubería de 6" SDR 13.5 y longitud de 51 m, al llegar a la casa de máquinas se acopla con un tubo de acero de 4".

En el recorrido de la tubería no se observó una válvula de alivio, a la entrada de la casa de máquina se encuentra una válvula principal, que le permite cerrar el flujo de agua si es necesario.



Fig. 40 Tubería de presión de MCH El Plan.

5.4.4. Casa de máquinas.

La casa de máquinas es una construcción de ladrillos con dimensiones de 4.5 x 4 m, posee 2 ventanas con verjas metálicas y un portón metálico de 2 hojas. La casa de máquinas aloja el equipo electromecánico instalado.

La MCH El Plan posee una turbina Pelton de un inyector con aguja de regulación, fabricada en acero A-32, protegida con pintura de cromato de zinc como base y pintura epóxica como acabado, rodete de bronce de alabes separados, eje horizontal y acople directo con el generador, esta turbina está en un estado óptimo debido a su poco tiempo de uso ya que es relativamente nueva, la turbina está anclada sobre una base de concreto reforzado con varillas de 3/8, por donde cae el agua turbinada que luego desagua al río a través de una tubería de 6”.



Fig. 41 Turbina Pelton de MCH El Plan.

5.4.5. Sistema de regulación de velocidad.

La MCH El Plan utiliza el sistema de regulación de velocidad por caudal, el cual opera en buen estado, este sistema consiste en un sensor que envía la señal al controlador electrónico si aumenta o disminuye la demanda de energía eléctrica, y el controlador manda la orden al sistema hidráulico que controla el paso de agua a la turbina por medio de la aguja de regulación.

Además se utiliza un controlador de carga que está compuesto de una tarjeta electrónica con su respectivo protector, un lastre o juego de resistencia que disipa la energía de exceso. Se utilizan tres resistencias de 1.5 KW.

5.4.6. Sistema de transmisión de potencia.

El sistema de transmisión empleado en la MCH El Plan es acople directo entre el eje de la turbina y el eje del generador, ya que su velocidad nominal es igual, se utiliza acoplamiento de cadena. El diametro del eje es 2 pulgadas (50.8 mm) apoyado por 2 chumaceras bipartidas de doble carril, de rodillos cilíndricos.



Fig. 42 Sistema de transmisión de potencia mecánica de MCH El Plan.

5.4.7. Generador Eléctrico.

El generador es síncrono marca OGI, LLC de 8 KW de potencia.

Tabla 4. Datos del generador eléctrico de MCH El Plan.

Generador.	Datos.
Tipo	QFW 184E
Potencia instalada	8 KW
Frecuencia	60 Hz
Tensión	120/240 V

Generador.	Datos.
Clasificación	S1
Tensión de excitación	45 V
IDNO	01009012020
Velocidad de rotación	1800 RPM
Temperatura ambiente	40°C
Factor de potencia nominal	0.8
Aislamiento	Clase H

5.4.8. Canal de descarga.

El agua turbinada pasa por un canal situado en la base de la turbina que luego se une a un tubo de 6" PVC completo y el agua vuelve a su curso a orillas del río Malacatoya.

6. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LAS MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

La construcción de una MCH requiere de una gran inversión de capital, a fin de recuperar este capital la MCH debe funcionar todo el tiempo para el cual fue diseñada, a esto le restamos el tiempo programado para paradas por diversos motivos, esto se logra con un adecuado plan de mantenimiento y operación del sistema, lamentablemente, a veces estas MCH demuestran la falta de un adecuado mantenimiento y operación, por la falta de conocimientos básicos de los operadores que ejecutan las actividades de mantenimiento y no tener las herramientas, repuestos y materiales para realizarlas.

El presente capítulo establece el manual de mantenimiento y operaciones básicas de las MCH, primero se detallan las actividades de mantenimiento divididas de acuerdo a cada parte de la MCH, dando una parte explicativa sobre el mantenimiento y la otra parte una lista de las actividades de mantenimiento, y luego un programa de mantenimiento con la periodicidad en que deben ejecutarse las actividades de mantenimiento en las MCH. Y para finalizar este capítulo se detalla el plan de operación de las MCH, además se brinda una tabla de posibles fallas, su posible causa y la acción a tomar.

6.1. Manual de Mantenimiento de las MCH.

6.1.1 Mantenimiento en la obra de toma de agua.

El mantenimiento en la obra de toma es poco, se refiere más a actividades de limpieza e inspección de la misma, por lo general el río trae consigo grandes rocas, vegetación y arena que se depositan en la presa, todo esto causa bloqueo de la entrada de agua, además se debe inspeccionar la existencia de grietas o filtraciones en la presa, los cuales se deben reparar. A continuación una lista de las actividades de mantenimiento a realizarse:

- Limpieza de sedimentos de la presa para mantener el nivel de agua, esto debe realizarse utilizando palas.

- Limpieza de materiales que bloquean las rejillas o filtros.
- Revisión de la presa en busca de grietas, filtraciones y bordes dañados, en caso de existencia proceder a repararlos.
- Revisión de fugas a través o por debajo de presa o alrededor de los refuerzos.
- Pintar rejillas o filtros metálicos con pintura anticorrosiva para evitar oxidación. Antes de pintar se debe limpiar la rejilla o filtro, luego lijar el óxido y luego pintar, se deben dar 2 manos de pintura.

6.1.2. Mantenimiento del desarenador y cámara de carga.

El desarenador y la cámara de carga son parte importante de la MCH, del adecuado funcionamiento de ambas depende el deterioro que sufrirá el rodete de la turbina, en ellos se depositan las partículas en suspensión, que comúnmente es arena y lodo, el mantenimiento consiste en labores de limpieza e inspección de soportes y estructuras. Algunas MCH poseen un gran reservorio para almacenamiento de agua, como el caso de la MCH El Plan, este reservorio también necesita de mantenimiento.

- Limpieza de rejilla o filtro de entrada al desarenador, cámara de carga y reservorio. (En el caso de MCH El Plan posee una malla coanda en vez de rejilla común, la cual no necesita limpieza).
- Inspección del estado de la rejilla o filtro para ver el deterioro o corrosión y determinar si es necesario sustituirlo.
- Pintar rejillas o filtros metálicos con pintura anticorrosiva para evitar oxidación. Antes de pintar se debe limpiar la rejilla o filtro, luego lijar el óxido y luego pintar, se deben dar 2 manos de pintura.
- En caso de que existan válvulas y compuertas de limpieza en el desarenador, cámara de carga y reservorio, verificar su buen funcionamiento y deterioro, también engrasar partes móviles y pintar partes metálicas sin protección para evitar la corrosión.
- Limpieza de sedimentos del desarenador, cámara de carga y reservorio, en caso de existencia de compuertas de limpieza, abrirlas y limpiar, pero

en caso de no existir compuertas se realiza mediante el sellado de la entrada de agua, después vaciar el agua y luego la extracción de sedimentos con palas.

- Inspección de fugas, rajaduras o filtraciones de las estructuras del desarenador, cámara de carga y reservorio, incluso en los soportes de estos, proceder a reparar en caso de existencia.

6.1.3. Mantenimiento en tubería de presión.

En las MCH se utiliza tuberías de acero o bien tuberías de PVC, incluso ambas, las tuberías de acero requieren poco mantenimiento, en algunas ocasiones se pueden presentar goteras en las uniones de las tuberías, y su principal problema es la corrosión. Las tuberías de PVC no deben ser expuestas a los rayos solares debido al prematuro envejecimiento que estos provocan en el material. Es sumamente importante inspeccionar el estado de los soportes y anclajes considerando la presencia de drenajes laterales para conducir aguas de lluvia que de otro modo podrían socavar el terreno provocando inestabilidad, deformación y hasta rotura de tuberías.

- Inspección de la tubería en busca de fugas o abolladuras.
- En tuberías de acero, si existe corrosión, limpiar con cepillo de cerdas metálicas o solvente químico, y aplicar pintura anticorrosiva en toda la tubería de acero.
- Inspeccionar el estado de los apoyos y anclajes, en caso de encontrarse mal estado proceder a repararlos.
- Inspección del recorrido de la tubería para encontrar rocas o vegetación con evidencia a derrumbarse o deslizarse provocando daños en la tubería de presión.

6.1.4. Mantenimiento de la casa de máquinas.

El mantenimiento de la casa de máquinas es sencillo, se trata de conservar en buenas condiciones el lugar donde se encuentran las máquinas o equipos electromecánicos, protegiéndolos del medio ambiente; lluvia, sol, viento y polvo.

Además de proveer la seguridad ante daños o pérdidas por personas no autorizadas e incluso la entrada de animales.

- Limpieza de casa de máquinas, evitando la permanencia de desechos y polvo.
- Mantener herramientas y repuestos de forma ordenada.
- Verificar el buen estado de ventanas y puertas, en caso de averías proceder a repararlas con soldadura.
- Pintar verjas y portones metálicos con pintura anticorrosiva.
- Verificar el estado del techo, en caso de goteras proceder a sellarlas con tapagoteras para evitar que se introduzca agua en las máquinas o equipos electromecánicos.
- Mantener limpia el área alrededor de la casa de máquinas, eliminando vegetación o rocas que podrían ocasionar daños.

6.1.5. Mantenimiento de válvulas.

Las válvulas se instalan al final de la tubería, las válvulas deben ser capaces de operar libremente en todo momento, si no puede hacerlo debido a la fuerza excesiva del empaque o por oxidación (sarro), este debe reemplazarse, también las válvulas tienden a presentar fugas de agua por el prensaestopa, las válvulas tienen cierre hermético pero si existe desgaste u oxidación no lo tendrán.

- En caso de fuga de agua ajustar las tuercas del prensaestopa uniformemente hasta que la fuga cese, este ajuste se realiza ajustando cada tuerca un cuarto de giro por vez, para no ocasionar un difícil accionamiento o desgaste del eje o vástago.
- En caso de que la fuga de agua no cese debe reemplazarse el empaque porque se ha desgastado.

Pasos para cambiar el empaque:

1. Drene/Remueva la presión del sistema de válvula.
2. Afloje y remueva las tuercas del prensaestopa, hecho esto el mismo puede elevarse por el vástago dejando expuesto el empaque.

3. Remueva el viejo empaque, tenga cuidado y asegúrese que las herramientas que está utilizando para remover el empaque no rayen el vástago y la cámara del empaque.
4. Instale el nuevo empaque, este debe estar limpio y seco, apisonelo y asegúrese que no quede torcido ni que el aire quede aprisionado. Siempre utilice empaques nuevos y que sean compatibles con el material del vástago y la línea de tubería, en presión.
5. Coloque nuevamente el prensaestopa y ajuste las tuercas.
6. Abra y cierre la válvula manualmente varias veces para asegurarse que todas las partes trabajan suavemente bajo presión y para ayudar a acomodar el empaque, luego de varios días inspeccione la válvula por fugas, puede llegar a requerir un ajuste.

6.1.6. Mantenimiento de turbinas.

La turbina necesita poco mantenimiento cuando el agua que entra en ella está limpia, se debe de estar alerta ante la ocurrencia de ruidos pues esto nos indica que algo malo está sucediendo. También, se debe revisar la tapa de inspección de la turbina para evitar la aparición de corrosión.

- Observar y escuchar cualquier vibración o sonido anormal en el funcionamiento de la turbina.
- Revisar la cámara de la turbina, las válvulas de admisión y las tuberías de unión a la turbina, en busca de deterioro o fugas, en caso de existencia de fugas proceder a repararlas y en caso de deterioro como corrosión, se debe limpiar con cepillo de cerdas metálicas o solvente químico y pintar con pintura anticorrosiva.
- Examinar el desgaste del rodete y los alabes.
- Examinar la carcasa en busca de corrosión, en caso de encontrarse debe limpiarse el área con cepillo de cerdas metálicas y pintar con pintura anticorrosiva.
- Ajustar pernos de los soportes de la carcasa para evitar fugas.

6.1.7. Mantenimiento del sistema de transmisión de potencia.

En el sistema de transmisión de potencia mecánica existen dos sistemas: acople indirecto que lo conforman el eje, poleas, bandas y cojinetes; y el acople directo que une a la turbina con el generador. Estos sistemas deben ser inspeccionados para detectar vibraciones, tensiones excesivas en fajas, ajustes de pernos de sujeción y pernos del acople, estado de los elementos flexibles, estiramientos de las bandas, calentamiento de los rodamientos y flexión de ejes.

- Observar y escuchar cualquier vibración o ruido anormal mientras revisa el funcionamiento de la transmisión, una transmisión bien diseñada y aplicando un buen mantenimiento tiene que funcionar suave y silenciosamente.
- Detenga el funcionamiento de la MCH antes de realizar las siguientes tareas de mantenimiento que a continuación se detallan:
- Inspeccionar la (s) banda (s), marque o haga una indicación en un punto de la banda, recorra toda la (s) banda (s) revisando grietas, áreas con roturas, cortes o áreas con indicio de desgaste anormal. Si la banda presenta estos problemas es recomendable cambiarla. Siempre reemplace por bandas nuevas, no combine una banda nueva con una vieja, ni mezcle bandas de diferentes fabricantes porque estas suelen tener características diferentes que provocarían una tensión inusual y duración menor.
- Verifique la temperatura de la banda por si hay calor excesivo, aunque las bandas se calientan durante su funcionamiento no deben sobrepasar cierto límite, nuestras manos pueden soportar 45° C por lo que si la banda está demasiado caliente no lo harán y se debe buscar la causa del sobrecalentamiento.
- Retirar la (s) banda (s) para realizar inspección de la polea, revisando el desgaste anormal, golpes, corrosión, dobladuras de las paredes, grietas o poros, limpiar la presencia de aceite o grasa provocando deslizamiento de la banda.

- Revisar el alineamiento y montaje de las poleas, utilizando una regla o una cuerda rígida, alinee la regla o cuerda a lo largo del lado liso de ambas poleas como lo muestra la figura.



Fig. 43 Alineamiento de las poleas.

También se debe revisar la inclinación de la polea con un nivel de burbuja. Si las poleas no están alineadas pueden ser las siguientes causas: las poleas están mal colocadas en los ejes, los ejes no son paralelos, las poleas están inclinadas, por lo cual debe de corregirse el montaje de las poleas.

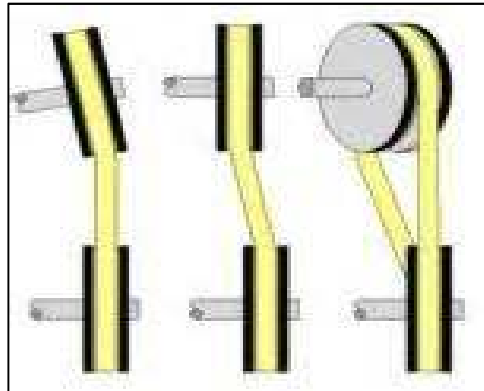


Fig. 44 Tipos de desalineación.

- Monte nuevamente la (s) banda (s), verificando el tensado de la banda, esto se realiza aplicando una fuerza perpendicular a la banda en el punto medio entre ejes, se recomienda una deflexión de 15 mm por cada 1000 mm de distancia entre ejes.

- Ajustar pernos o tuercas de sujeción del sistema de transmisión de potencia.
- Lubricar cadena del acople directo (como el caso de MCH El Plan). Se recomienda utilizar un aceite 15W 20, 15W 30, 15W 40, 20W 20, 20W 30, 20W 40.
- Lubricar cojinetes, la cantidad de grasa⁵ que debe suministrarse se ha tomado de la Fig. 45 en la cual ingresamos el diámetro del eje e interceptamos la curva brindándonos la cantidad de grasa recomendada.

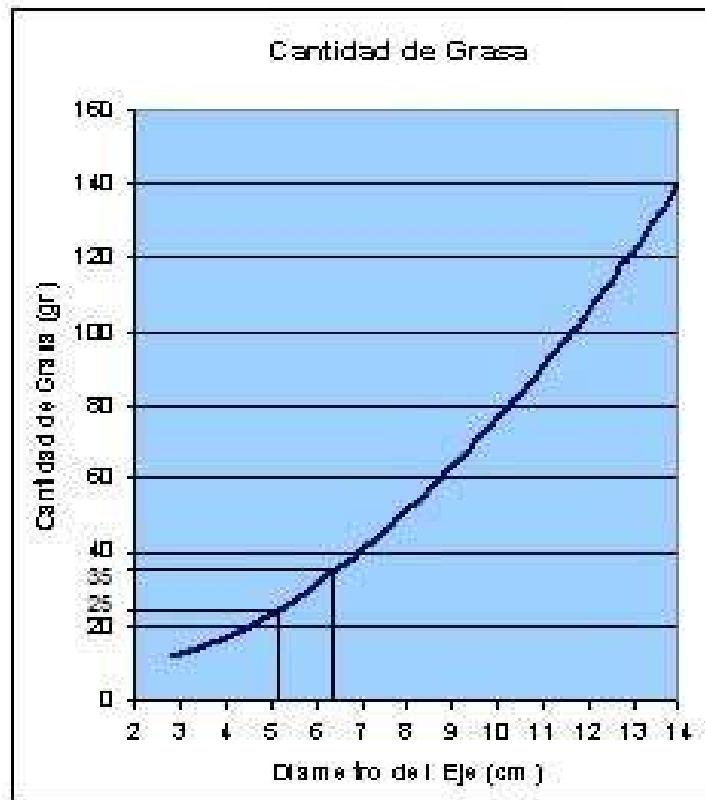


Fig. 45 Cantidad de grasa.

Para MCH El Plan y MCH El Roblar el diámetro del eje es 2 pulgadas equivalentes a 5.08 cm la cantidad de grasa es 25 gramos, para MCH Malacatoya el diámetro del eje es 2 ½ pulgadas equivalentes a 6.35 cm la cantidad de grasa es 35 gramos.

⁵ Gráfica sobre la cantidad de grasa, fuente [www.widman.biz/boletin/la determinación de la frecuencia de engrase](http://www.widman.biz/boletin/la%20determinaci3n%20de%20la%20frecuencia%20de%20engrase).

La frecuencia de lubricación⁶ de los cojinetes depende de la temperatura de operación, la Fig. 76 nos da la cantidad de horas de lubricación.

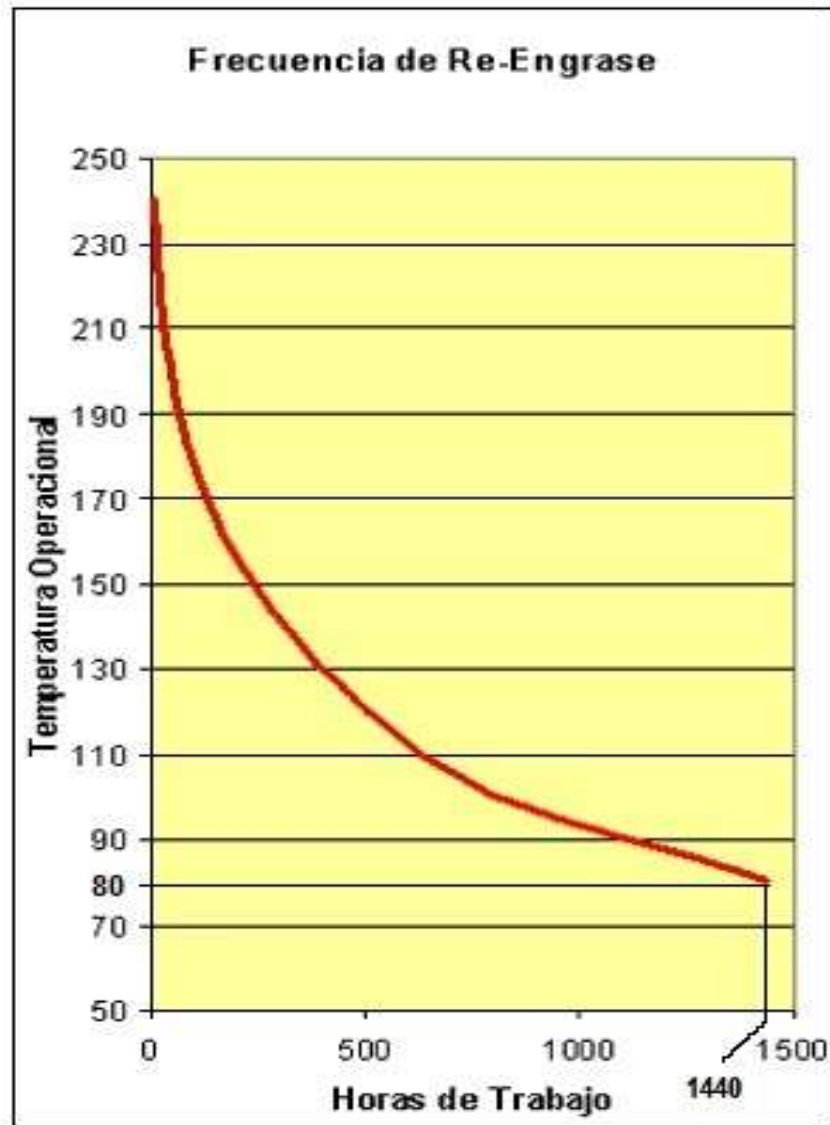


Fig. 46 Frecuencia de lubricación.

La temperatura promedio de los cojinetes usados en las MCH diagnosticadas es de 80 °C por lo cual resulta que se debe lubricar cada 1440 horas de trabajo, cabe mencionar que esto es una recomendación y el tiempo de re – lubricación y la cantidad de grasa podrían variar por distintos factores, ambiente de trabajo, humedad, calidad de la grasa.

⁶ Gráfica sobre la frecuencia de lubricación, fuente [www.widman.biz/boletin/la-determinación de la frecuencia de engrase](http://www.widman.biz/boletin/la-determinacion-de-la-frecuencia-de-engrase).

Se debe utilizar una grasa multiuso grado NLGI #2, ya que normalmente son formuladas con aceite básico entre ISO 150 y ISO 220, que tenga aditivos EP y recomendamos un espesante de litio, complejo de litio o polyurea, por que poseen las propiedades necesarias para los cojinetes de las MCH.

6.1.8. Mantenimiento del regulador de velocidad.

La regulación de la velocidad tiene dos sistemas los reguladores de carga y los regulares por caudal, ambos tienen la función de mantener constante la velocidad de la turbina y la frecuencia del generador, por lo que es de vital importancia darles mantenimiento. Los reguladores de carga necesita muy poco mantenimiento, debe verificarse la circulación de agua por el juego de resistencias, este juego está ubicado debajo de la carcasa de la turbina donde cae el agua turbinada, además debe limpiarse el polvo del regulador, así como revisar el ajuste de los pernos y tuercas de sujeción. Los reguladores por caudal poseen dispositivos mecánicos; articulaciones, levas, bielas, a las cuales se les debe verificar su buen funcionamiento, estos reguladores poseen sistemas de transmisión en los cuales tiene que verificarse el estado y tensión de fajas o se utiliza transmisión por cadena como el caso de MCH Malacatoya, la cual debe ser lubricada con aceite.

6.1.9. Mantenimiento del generador eléctrico.

En el mantenimiento del generador eléctrico nos limitaremos a labores de limpieza exterior e inspección del funcionamiento del mismo, escuchando atentamente la existencia de ruidos anormales y vibraciones excesivas, colocando la mano sobre el generador para verificar su temperatura la cual no debe ser excesiva, quiere decir que podemos colocar nuestra mano sin sentir ninguna molestia, el mantenimiento o reparación debe realizarlo un técnico capacitado.

6.1.10. Programa de Mantenimiento.

El programa de mantenimiento resume las actividades de mantenimiento con la periodicidad para su ejecución.

Mantenimiento Diario:

1. Limpieza de materiales que bloquean las rejillas o filtros a la entrada del desarenador, cámara de carga y reservorio. (En el caso de MCH El Plan posee una malla coanda en vez de rejilla común, la cual no necesita limpieza).
2. Limpieza de casa de máquinas, evitando la permanencia de desechos y polvo.
3. Mantener herramientas y repuestos de forma ordenada.
4. Observar y escuchar atentamente cualquier vibración o sonido anormal en el funcionamiento de la turbina, del sistema de transmisión de potencia mecánica y el generador eléctrico.
5. Revisar la turbina, las válvulas de admisión y la tubería de unión a la turbina, en busca de deterioro o fugas, en caso de existencia de fugas proceder a repararlas y en caso de deterioro como corrosión, se debe limpiar con cepillo de cerdas metálicas o solvente químico y pintar con pintura anticorrosiva.

Mantenimiento Semanal:

1. Limpieza de sedimentos de la presa para mantener el nivel de agua, esto debe realizarse utilizando palas.
2. Inspección del recorrido de la tubería de presión: en busca de fugas o abolladuras, estado de los apoyos y anclajes, incluso determinar la existencia de rocas o vegetación con evidencia a derrumbarse sobre la tubería.
3. En tubería de acero, si existe corrosión, limpiar con cepillo de cerdas metálicas, y aplicar pintura anticorrosiva en toda la tubería de acero.

Mantenimiento Mensual:

1. Limpieza de sedimentos del desarenador, cámara de carga y reservorio (en el caso de MCH El Plan), si existen compuertas de limpieza, abrirlas y limpiar, pero en caso de no existir compuertas se realiza mediante el sellado de la entrada de agua, después vaciar el agua y luego la extracción de sedimentos con palas.
2. Mantener limpia el área alrededor de la casa de máquinas, eliminando vegetación o rocas que podrían ocasionar daños.
3. Revisar el ajuste de pernos y tuercas de sujeción de todos los componentes de la MCH; turbina, sistema de transmisión de potencia y generador.
4. Lubricar cadena del acople directo (como el caso de MCH El Plan). Se recomienda utilizar un aceite 15W 20, 15W 30, 15W 40, 20W 20, 20W 30, 20W 40.

Mantenimiento Semestral (cada 6 meses):

1. Revisión de la presa, desarenador, cámara de carga y reservorio en busca de rajaduras, filtraciones y bordes dañados, en caso de existencia proceder a repararlos.
2. Pintar rejillas o filtros metálicos con pintura anticorrosiva para evitar oxidación. Antes de pintar se debe limpiar la rejilla o filtro, luego lijar el óxido y luego pintar, se deben dar 2 manos de pintura.
3. Inspección del estado de la rejilla o filtro para ver el deterioro o corrosión y determinar si es necesario sustituirlo.
4. Verificar el estado de ventanas y puertas de la casa de máquinas, en caso de averías proceder a repararlas aplicando soldadura eléctrica.
5. Examinar el desgaste del rodete y los alabes.
6. Detener el funcionamiento de la MCH para realizar una inspección completa del estado del sistema de transmisión: banda (s), poleas, ejes, rodamientos. Y el estado del regulador de velocidad: cadena y sproker.

Para la realización de esta inspección se debe seguir las instrucciones propuestas en el mantenimiento del sistema de transmisión de potencia mecánica.

Mantenimiento Anual:

1. Pintar verjas y portones metálicos de la casa de máquinas con pintura anticorrosiva.
2. Verificar el estado del techo de la casa de máquinas, en caso de goteras proceder a sellarlas con tapagoteras para evitar que se introduzca agua en las máquinas o equipos electromecánicos.

6.1.11. Repuestos y herramientas para mantenimiento.

Para la realización de las actividades de mantenimiento es necesario contar con la existencia de un mínimo de herramientas y repuestos en la Microcentral, estos deben ser almacenados en la casa de máquinas.

Tabla 5. Repuestos para la Microcentral Hidroeléctrica.

Repuestos	
Rodamientos	Cemento
Sellos y empaques de la turbina	Fusibles
Empaques para la válvula	Pegamento PVC
Bandas planas o en V (según el tipo de banda que se utilice)	Grasa y aceite que se utilice en la MCH
Kerosene para limpieza de piezas	Alabes para la turbina
Trapos limpios	Juego de accesorios para tubería: bridas, uniones, codos, tapones y reductores

Tabla 6. Herramientas para la Microcentral Hidroeléctrica.

Herramientas	
Martillo	Cepillo metálico
Alicate mecánico	Alicate para electricista
Machete	Multímetro
Extractores de rodamientos	Engrasadora o aceitera
Lijas y lima	Escalera
Regla y nivel de burbuja	Palas: plana y de cuchara
Tijera para cortar lata	Marco de sierra
Rastrillo	Linterna
Cinceles y punzones	Zacapicos
Brocha	Escoba
Juego de destornilladores: plano y estrella	Juego de llaves: mixtas, hexagonales, Stillson y llave inglesa
Sierras	Barra
	Embudo

6.2. Manual de Operación de las MCH.

Para poder obtener un máximo rendimiento en la generación de energía, se tiene que operar las Microcentrales de forma tal que se presenten los mínimos inconvenientes debido al operador o la forma en que se operan, por tal razón se debe estipular un procedimiento que debe cumplir el operador de una MCH, desde el momento de poner en marcha la turbina hasta el momento de parada de la turbina, además se debe capacitar al operador constantemente y este debe poseer una bitácora (un cuaderno de apuntes) para guardar los registros que permitan un estudio fácil de daños que puedan producirse en la MCH y documentar el mantenimiento que informará el desempeño del equipo o máquinas durante su estado operacional.

6.2.1. Pasos para poner en servicio las MCH.

1. Revisar que el breaker de salida de energía hacia la comunidad este desactivado, abierto o en posición OFF.
2. Revisar que los switch o palancas del panel frontal de regulación de la turbina estén desactivados, con la palanca abajo o en posición OFF.



Fig. 47 Switch o palancas del panel de regulación de la turbina.

3. Revisar que la presión manométrica en el manómetro marque la medida adecuada, en caso contrario subir a la presa y revisar. Medidas de presión adecuadas: MCH Malacatoya 35 psi, MCH El Roblar 120 psi y MCH El Plan 270 psi.



Fig. 48 Manómetro.

4. Revisar que el deflector se encuentre desactivado o abierto.



Fig. 49 Posición desactivada del deflector.

5. Revisar que las válvulas de entrada a la turbina se encuentren abiertas.



Fig. 50 Válvulas de la turbina.

6. Revisar que el equipo electromecánico se encuentre libre de cualquier objeto o material que no sea parte del mismo.
7. Controlar y verificar que todas las partes del equipo electromecánico se encuentren muy bien fijadas, sin que existan partes sueltas.
8. Hacer girar manualmente el volante de inercia de la turbina en sentido de las agujas del reloj, para verificar que no exista impedimento alguno y que todo pueda moverse libremente.

9. Abrir lentamente la válvula principal de la tubería.



Fig. 51 Válvula principal.

10. La turbina empezará a girar y el generador a generar energía, por lo cual debemos verificar la frecuencia en el frecuencímetro que se encuentra en el costado lateral del panel de regulación, debe marcar 55, 56, 57 Hertz.



Fig. 52 Frecuencímetro.

11. Activar los switch palancas que se encuentran en la parte frontal del panel de regulación de la turbina.



Fig. 53 Switch o palancas activados.

12. Cuando la turbina se estabilice con su frecuencia oscilando lentamente entre 59 y 61 Hertz. Activar el breaker de salida de energía hacia la comunidad o ponerlo en posición ON.

6.2.2. Pasos para sacar de servicio las MCHs.

1. Desactivar, palanca abajo o en posición OFF los switch o palancas del panel de regulación de la turbina.



Fig. 54 Switch o palancas desactivados.

2. Activar el deflector para desviar el flujo de agua que activa la turbina.



Fig. 55 Deflector activado.

3. Desactivar o poner en posición OFF el breaker de salida de energía hacia la comunidad.
4. Cerrar lentamente la válvula principal de la tubería.

6.2.3. Diagnóstico de fallas, posible causa y acción a tomar.

Durante el funcionamiento de las MCH se presentan fallas que el operador debe analizar para determinar las posibles causas y tomar acciones para solucionarlas, esto dependerá de su experiencia y la magnitud de la falla. La tabla 7 proporciona lineamientos básicos que pueden ayudar en el proceso de diagnosticar la posible causa de una falla y las posibles alternativas para su solución.

Tabla 7. Falla, causa y acción a tomar en el funcionamiento de la MCH.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION A TOMAR
La turbina no gira.	Insuficiente agua.	Verificar que la tubería este llena.
	Las partes móviles de la turbina se encuentran trabadas.	Si el eje de la turbina no gira manualmente, algún objeto puede estar obstruyendo el rodete.
	Objeto obstruyendo el paso del agua.	Retirar cubierta de limpieza, verificar y retirar la obstrucción.
La turbina arranca pero no incrementa su velocidad.	Insuficiente agua en la cámara de carga y cae la altura de presión.	Revisar la alimentación de agua a la cámara de carga o reservorio en el caso de MCH El Plan.
	El regulador no funciona.	Solicitar la presencia del técnico especialista.
	El medidor de revoluciones esta malogrado.	Verificar con el frecuencímetro.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION A TOMAR
La turbina gira a una velocidad solamente.	El regulador está fallando.	Solicitar la presencia del técnico especialista.
	La banda del regulador resbala.	Verificar tensión de las bandas.
	El regulador de revoluciones esta averiado.	Verificar con el frecuencímetro.
La turbina gira pero pierde velocidad cuando se conecta a la carga.	Insuficiente agua.	Verificar la alimentación de agua a la cámara de carga o reservorio en caso de MCH El Plan.
	Rejillas en cámara de carga están obstruidas.	Revisar y limpiar.
	Obstrucción en el paso del agua.	Verificar el manómetro, si la aguja vibra es debido a una obstrucción.
	Defectos en el regulador.	Solicitar la presencia del técnico especialista.
La turbina opera con carga por un tiempo y pierde velocidad o se detiene.	Insuficiente agua en el rio o reservorio.	Reducir la carga de la turbina según la disponibilidad de agua.
	Obstrucción de la rejilla de la cámara de carga.	Verificar y limpiar.
	Obstrucción en el paso del agua.	Verificar el manómetro, si la aguja vibra es debido a una obstrucción.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION A TOMAR
La turbina opera con carga por un tiempo y pierde velocidad o se detiene.	El canal de descarga está inundado.	Revisar y limpiar.
Fluctuación de la velocidad de la turbina sin carga.	Defectos del regulador.	Solicitar la presencia del técnico especialista.
	Resbalamientos de las bandas del regulador.	Revisar y ajustar la tensión de las bandas.
Fluctuación de la velocidad de la turbina con carga.	Presencia de cargas momentáneas.	Verificar la velocidad en diferentes cargas.
	Defectos en el regulador.	Solicitar la presencia del técnico especialista.
	Resbalamiento de bandas del regulador.	Verificar la tensión de la banda y ajustarla.
Presencia de ruidos en la turbina.	Piedras pequeñas extraídas por el agua.	No hay problema si los ruidos desaparecen pronto.
Velocidad de la turbina demasiado baja.	Insuficiente agua.	Verificar e incrementar si es necesario.
	Bandas de transmisión flojas.	Ajustar las bandas.
Ruido en los rodamientos.	Rodamientos defectuosos, gastados.	Cambiar los rodamientos.
	Algún elemento suelto dentro de los rodamientos.	Inspeccionar el interior.
	Bandas demasiado tensas.	Ajustar la tensión de las bandas.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION A TOMAR
Calentamiento de rodamientos.	Exceso de grasa.	Inspeccionar, reducir la cantidad de grasa y probar.
	Falta de grasa.	Inspeccionar, engrasar y probar.
	Bandas demasiado tensas.	Revisar y ajustar la tensión de las bandas.
	Inadecuado alineamiento.	Revisar el alineamiento y corregir.
No hay voltaje cuando el generador está en marcha.	Velocidad de rotación baja.	Verificar y corregir. En caso de persista la falla solicitar la presencia del técnico especialista.
Voltaje del generador demasiado bajo estando sin carga.	Velocidad de rotación baja.	Verificar y corregir. En caso de persista la falla solicitar la presencia del técnico especialista.
Voltaje del generador alto sin carga.	Velocidad demasiado alta.	Verificar y corregir si es necesario.
Voltaje del generador cae cuando se conecta la carga.	Caída de velocidad con carga.	Verificar el regulador, podría tratarse de una falla.
	Bandas de transmisión flojas.	Verificar la tensión y ajustar.
	Sobrecarga del generador.	Verificar y reducir la carga si es necesario.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION A TOMAR
Voltaje del generador cae cuando se conecta la carga.	Presencia de aceite en la ranura de la polea provocando resbalamiento de la banda.	Limpiar ranura de la polea.
	Si no es ninguna de las anteriores.	Solicitar la presencia del técnico especialista.
El voltaje del generador varía continuamente.	Velocidad inestable de la turbina.	Inspeccionar todo el funcionamiento de la turbina.
	Bandas de transmisión flojas.	Verificar y ajustar la tensión.
	El traslape de la banda plana.	Verificar el adecuado traslape y cambiar si es necesario.
	Presencia de aceite en la ranura de la polea provocando resbalamiento de la banda.	Limpiar ranura de la polea.
El generador calienta.	Flujo de aire al interior del generador esta obstruido.	Revisar el libre paso del aire.
	Alta temperatura de la casa de máquinas.	Verificar y corregir si es necesario.
	Sobrecarga del generador.	Verificar y reducir la carga si es necesario.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION A TOMAR
Giro forzado del rotor del generador, ruido en los rodamientos y calentamiento de los mismos.	Alineamiento incorrecto.	Verificar el alineamiento y corregir si es necesario.
	Rodamientos con poca grasa.	Verificar y engrasar si es necesario.
	Rodamientos con exceso de grasa.	Verificar y retirar grasa si es necesario.
	Banda de transmisión demasiado tensa.	Verificar y corregir.
	Rodamientos defectuosos.	Verificar estado y cambiar si es necesario.
	Partes móviles en rozamiento.	Verificar la parte rozante y eliminar el rozamiento.
Fuerte vibración en el generador.	Pernos de sujeción flojos.	Revisar y ajustar si es necesario.
	Desbalance en el rotor del generador.	Solicitar la presencia del técnico especialista.

6.3. Control del mantenimiento y operación de la MCH.

Para lograr la correcta aplicación de las actividades de mantenimiento y operación, se ha creado una serie de formatos o fichas de control, que podrían ayudar a una mejor organización, control y administración de la MCH.

Estos formatos son un sistema integral de registro y planeación que formaran la bitácora de la MCH, permitiendo realizar optimización en las actividades de mantenimiento, operación y diagnóstico de las fallas. Los formatos deberán ser los siguientes:

6.3.1. Ficha de operación.

La ficha de operación será un instructivo que establece los procedimientos para poner en servicio la MCH y los procedimientos para sacar de servicio la MCH, además constara con otros datos que ayudan al control de la operación.

La ficha de operación deberá contener la siguiente información:

- Nombre de la MCH.
- Fecha.
- Nombre del operador.
- Hora de encendido.
- Pasos para poner en servicio la MCH.
- Ocurrencias durante el encendido.
- Pasos para sacar de servicio la MCH.
- Hora de apagado.
- Cantidad de horas de uso.
- Observaciones.

6.3.2. Ficha de mantenimiento.

La ficha de mantenimiento será un registro de las actividades de mantenimiento realizadas, esta ficha deberá contener la siguiente información:

- Nombre de la MCH.
- Fecha.
- Nombre del encargado o encargados del mantenimiento.
- Hora de inicio.
- Actividades de mantenimiento realizadas, tipo de mantenimiento.
- Repuestos y materiales utilizados.
- Herramientas utilizadas.
- Hora de finalización.
- Observaciones.

6.3.3. Ficha de lubricación.

Esta ficha es el registro de las actividades de mantenimiento referidas a lubricación, deberá contener la siguiente información:

- Nombre de la MCH.
- Fecha.
- Nombre del encargado o encargados de la lubricación.
- Equipo a lubricar.
- Tipo de lubricante.
- Cantidad de lubricante.
- Herramientas utilizadas.
- Tiempo.
- Observaciones.

En el Anexo B se presentan las fichas propuestas para el control del mantenimiento y operación de las MCH.

6.4. Plan de Seguridad Industrial.

La seguridad industrial es una disciplina que comprende actividades que velan por el bienestar humano y la propiedad física de la empresa, el objetivo principal de la seguridad industrial es salvaguardar la vida y preservar la salud y la integridad física de los trabajadores por medio del dictado de normas encaminadas tanto a que les proporcionen las condiciones para el trabajo, como a capacitarlos y adiestrarlos para que se eviten, dentro de lo posible, las enfermedades y los accidentes laborales.

6.4.1. Normas de seguridad personal:

- No improvise, siempre siga las instrucciones.
- Registre e informe de cualquier condición peligrosa.
- Colabore para mantener limpio y ordenado el área de trabajo.
- Use solamente herramientas y equipos correctos.
- Haga que lo atiendan en caso de una lesión personal, no importa lo

pequeña que sea.

- No camine bromeando o distrayendo a otros compañeros.
- Lleve puesto todo el equipo de protección y la ropa de trabajo.
- No arranque equipamiento o maquinaria si no hay disposición.
- Obedezca todas las normas y señales de seguridad.
- No deje materiales o herramientas en el suelo.
- No permita el ingreso de menores de edad.
- Coloque un extintor de incendios en un lugar accesible en la MCH.
- Procure que la cámara de carga y desarenador tengan un cerco de protección contra el ingreso de animales y personas no autorizadas.

6.4.2. Normas de seguridad en el empleo de herramientas:

- Use la llave del tamaño adecuado para el trabajo.
- Compruebe que cada lima tenga mango.
- Las esquinas con rebabas deben esmerilarse.
- Mantenga las cabezas de martillos bien fijas a sus mangos.
- Cambie los mangos que estén partidos.
- Mantenga los bordes de herramientas cortantes afilados.
- Mantenga las herramientas en cajas o estantes cuando no se usen.
- Proteja los bordes afilados de las herramientas cuando estén almacenados o se transporten.
- Deseche las herramientas que están gastadas o dañadas sin posibilidad de reparación.
- Use siempre la herramienta correcta para el trabajo.

6.4.3. Normas de orden y limpieza en la MCH:

- Mantenga limpio los sitios de trabajo.
- Limpiar y secar todos los líquidos, grasas y aceite derramados. Depositar el aceite en cilindros.
- Depositar la basura y los desechos industriales en lugares seguros (cilindros o pozos de desechos).

- Use depósitos de metal para trapos con grasa o aceite.
- Guarde sus herramientas en un sitio seguro cuando no vaya a usarlas. No deje herramientas en máquinas en marcha.
- Mantenga todas las puertas y salidas sin obstrucciones.

6.4.4. Uso de ropa y equipos adecuados:

- Lleve puesta la ropa adecuada. Vale la pena vestirse apropiadamente incluso para un trabajo corto.
- Las mangas flojas, las bufandas, anillos y brazaletes son PELIGROSOS. Se pueden enredar en la maquinaria.
- Use el casco de seguridad para proteger su cabeza.
- Utilice los zapatos de seguridad adecuados. (zapatos cerrados y de cuero).
- Utilice guantes de protección.
- Utilice protectores auditivos.
- Utilice gafas de protección.

6.4.5. Las señales de seguridad:

- Antes de iniciar cualquier trabajo de mantenimiento, asegurarse que la válvula esté cerrada y el interruptor general desconectado.
- No fumar dentro de la casa de máquinas, puede provocar un incendio.
- Revise que los extintores estén operativos.
- Colocar carteles en las zonas de trabajo.

La señalización tiene como misión llamar la atención sobre los objetos o situaciones que pueden provocar peligros así como para indicar el emplazamiento de dispositivos y equipos que tengan importancia desde el punto de vista de seguridad en los centros de trabajo. Para poder contar con una adecuada señalización; se debe de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las señales se instalarán preferentemente a una altura y en una posición apropiadas en relación al ángulo visual, teniendo en cuenta posibles

obstáculos, en la proximidad inmediata del riesgo u objeto que deba señalizarse o, cuando se trate de un riesgo general, en el acceso a la zona de riesgo.

- El lugar de emplazamiento de la señal deberá estar bien iluminado, ser accesible y fácilmente visible. Si la iluminación general es insuficiente, se empleará una iluminación adicional o se utilizarán colores fosforescentes o materiales fluorescentes.
- A fin de evitar la disminución de la eficacia de la señalización no se utilizarán demasiadas señales próximas entre sí.
- Las señales deberán retirarse cuando deje de existir la situación que las justificaba.

A continuación se presentan las diversas señalizaciones que deben colocarse en las MCHs.

- Señales de obligación. Denotan una acción obligatoria a cumplir.



Fig. 56 Señales de obligación.

- Señales de prohibición. Prohíbe la realización de una acción.



Fig. 57 Señal de prohibición.

- Señales de advertencia. Advierten sobre un peligro.



Fig. 58 Señales de advertencia.

- Señales de salvamento. Denotan lugar de salida y equipo de socorro.



Fig. 59 Señales de salvamento.

CONCLUSIONES.

Con la realización de nuestro trabajo hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- Actualmente las Microcentrales Hidroeléctricas operan en condiciones estables brindando el servicio de energía eléctrica a la población pero no con el rendimiento óptimo de acuerdo a sus diseños.
- Las Microcentrales Hidroeléctricas carecen de elementos mecánicos como compuertas y válvulas.
- Se necesita la puesta en práctica de un adecuado plan de operación y mantenimiento básico, asegurando que la Microcentral Hidroeléctrica funcione óptima e ininterrumpidamente durante el tiempo en que se requiera.
- Es indispensable que los operarios se capaciten para desempeñar las actividades de operación y mantenimiento de la Microcentral, a fin de asegurar el óptimo funcionamiento y alargamiento de la vida útil de las máquinas y equipo electromecánico.
- Es necesario que los operarios acaten las normas de seguridad para mantener el bienestar humano y la propiedad física de la Microcentral.

Esperamos pues, que de alguna manera nuestro trabajo aquí presentado sirva de guía para la implementación de un adecuado plan de operación y mantenimiento básico en estas y otras Microcentrales Hidroeléctricas, con la esperanza de contribuir en algo al desarrollo de nuestro país.

RECOMENDACIONES.

- Cambiar rejillas artesanales por rejillas que filtren mejor el agua, recomendamos la utilización de “malla coanda”.
- Construcción de compuertas y válvulas de purga para mejorar las labores de limpieza de la presa, desarenador y cámara de carga.
- Construcción de un desarenador en la Microcentral Hidroeléctrica Malacatoya.
- En la tubería se recomienda:
 - ✓ Instalar válvulas de alivio.
 - ✓ Cambiar anclajes y apoyos de madera por apoyos y anclajes de concreto.
 - ✓ Enterrar la tubería para evitar daños por reventidos y los rayos del sol, pero si resulta difícil enterrarla proceder a pintar la tubería.
 - ✓ Al existir fugas en la tubería, si es tubería de acero reparar con soldadura, si es tubería de PVC reparar con pegamento para PVC, y en caso de uniones de bridas empernadas socar los pernos y verificar estado del empaque.
- Al realizar cambio de bandas verificar que tengan la misma tensión, marca, numeración y codificación; y no mezclar bandas nuevas y viejas.
- Simplificar el sistema de regulación de velocidad de la Microcentral Hidroeléctrica Malacatoya.
- Poseer los manuales de los fabricantes de los equipos de la Microcentral.
- Tener a disposición los repuestos y herramientas mínimos para las labores de operación y mantenimiento.
- Crear un fondo para reparaciones imprevistas para no permanecer sin el servicio de energía eléctrica por tiempo indefinido.
- Ejecutar un plan de reforestación en toda la cuenca del río para preservar el recurso hídrico.
- Colocar una guarda de seguridad alrededor de las poleas y bandas. En el anexo D se presenta el dimensionamiento de la guarda de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA.

- Federico Coz. Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Lima: Intermediate Technology Development Group, ITDG-Peru, 1995.
- Claudio Mataix. Turbomáquinas Hidráulicas. España: ICAI, 2005.
- Robert L Mott. Diseño de elementos de máquinas. México: PEARSON EDUCACION, 2006.
- Manuel Polo Encinas. Turbomáquinas Hidráulicas. México: Limusa, 1988.

Monografías.

- Caselles Torrescasana Jaume, Zepeda León César A. Propuesta del plan de mantenimiento preventivo de la caldera de la empresa Walter Ferreti, Enabas. Monografía Managua. UNI 2010.

Consultas electrónicas.

- [http://www.widman.biz/boletines informativos](http://www.widman.biz/boletines_informativos)
- [http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluación y optimización del funcionamiento de la microcentral hidroeléctrica la chacara.pdf](http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluaci3n_y_optimizaci3n_del_funcionamiento_de_la_microcentral_hidroel3ctrica_la_chacara.pdf)
- [http://www.gates.com/catalogs/ mantenimiento preventivo de correas y transmisiones](http://www.gates.com/catalogs/mantenimiento_preventivo_de_correas_y_transmisiones)

Anexo A.

Cálculos para el diseño del desarenador y cámara de carga.

DISEÑO DEL DESARENADOR.

Longitud y Profundidad.

La longitud total se divide en tres partes:

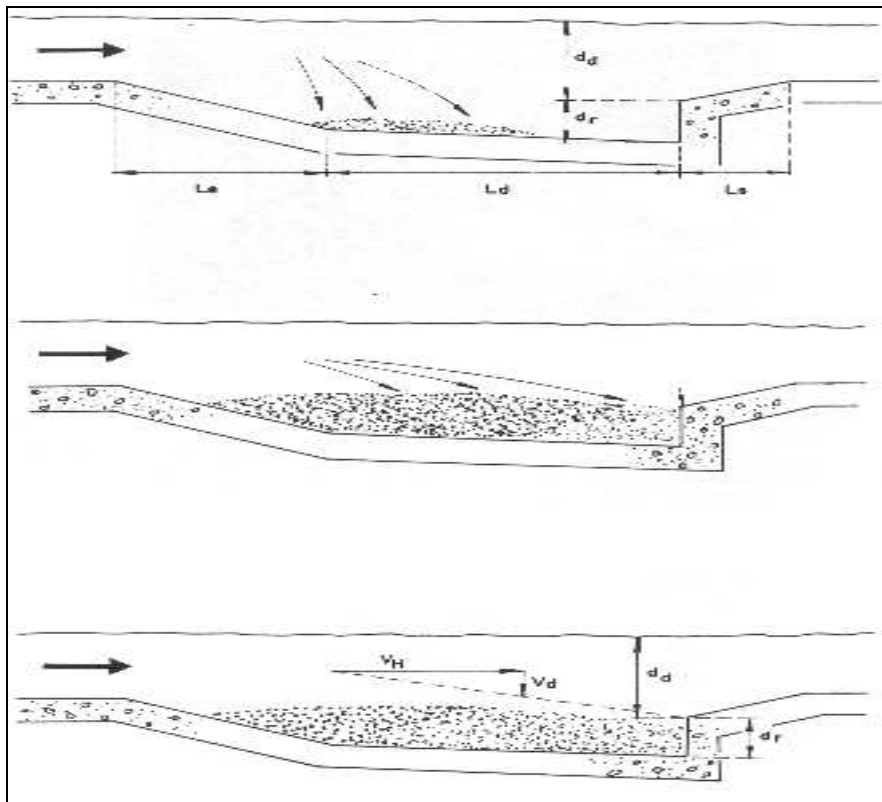
- Longitud de entrada (L_e)
- Longitud de decantación (L_d)
- Longitud de salida (L_s)

W es el ancho del desarenador.

La parte central es el área de decantación.

La profundidad total se divide en dos partes:

- Decantación (d_d)
- Recolección (d_r)



Diseño del desarenador.

La velocidad horizontal del agua (Vh) será baja, de 0.2 m/s a 0.4 m/s, hasta 0.5 m/s.

Profundidad de decantación (dd), se recomienda valores menores de 1m, para fines de diseño.

Longitud de decantación se calcula en función de la velocidad de decantación Vd de las partículas a sedimentar:

$$L_d = \frac{V_h}{V_d} * dd * f$$

Donde;

f - factor de seguridad (varia de 2 a 3)

Algunos valores de velocidad de decantación de partículas de arena se muestran a continuación:

Tamaño de la partícula (mm)	Velocidad de decantación Vd(m/s)
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.0	0.10

La profundidad de la zona de recolección del sedimento es función de la turbidez del agua del río y su variación en el año.

Profundidad del tanque de recolección:

$$dr = \frac{2 * Volsed}{W * Ld}$$

Donde;

W = ancho del desarenador (m), se calcula:

$$W = Q / (Vh \cdot dd)$$

V_{sed} = volumen de sedimento a decantar (m^3).

Se supone una densidad de acumulación del sedimento del 50% en el agua.

$V_{\text{sed}} = \text{Cantidad sedimento} / \text{Peso específico sedimento}$

$\text{Cantidad de Sedimento} = Q \times T \times S \text{ (Kg)}$

Donde;

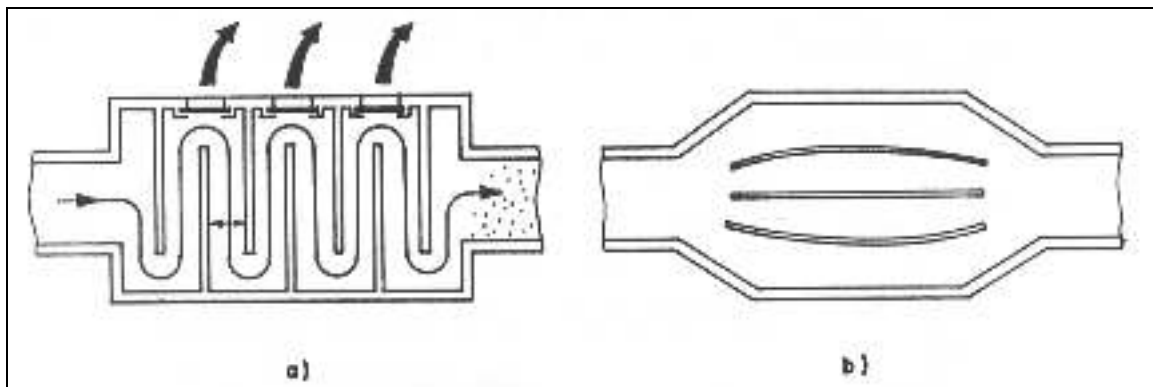
Q = caudal (m^3/s)

T = frecuencia de limpieza (7 días x 24 h x 60 min x 60s)

S = turbidez del agua (Kg/m^3)

En el caso de colocar deflectores con el objetivo de reducir su tamaño, éstos deben ser colocados longitudinalmente para evitar la turbulencia y el desplazamiento del sedimento fuera del tanque de recolección.

La figura muestra un diseño incorrecto del tanque colector con deflectores transversales.



a) Incorrecto b) Correcto

Secciones de ingreso y salida del desarenador.

Las longitudes de entrada y salida (L_a y L_s) debe ser 2.5 veces el ancho de la zona de decantación para evitar la turbulencia del agua.

$$L_a = 2.5 W$$

$$L_s = 2.5 W$$

El ángulo de divergencia y convergencia en las zonas de entrada y salida es aproximadamente 15 grados.

El tamaño de grano a remover en MCH es 0.2 mm para saltos menores de 100 metros.

DISEÑO DE LA CÁMARA DE CARGA.

El diseño de la cámara sigue exactamente el procedimiento esbozado anteriormente para los desarenadores, excepto para la sección de salida que es reemplazada por la toma de la tubería de presión.

En ocasiones se instala una válvula en la tubería contigua a la cámara de carga, para cerrar el flujo y permitir reparaciones en la misma.

El piso del depósito debe ser diseñado con una ligera inclinación para facilitar la limpieza de los sedimentos.

Anexo B.

Formatos para el control del mantenimiento y operación de la MCH.

MICROCENTRAL HIDROELECTRICA -----	
FICHA DE OPERACION	
Nombre del operador:	Fecha:
Hora de encendido:	
Pasos para poner en servicio la MCH (marque con una x los pasos que va realizando).	
1. Revisar que el breaker de salida de energía hacia la comunidad este desactivado, abierto o en posición OFF.	<input type="checkbox"/>
2. Revisar que los switch o palancas del panel frontal de regulación de la turbina estén desactivados, con la palanca abajo o en posición OFF.	<input type="checkbox"/>
3. Revisar que la presión manométrica en el manómetro marque la medida adecuada, en caso contrario subir a la presa y revisar.	<input type="checkbox"/>
4. Revisar que el deflector se encuentre desactivado o abierto.	<input type="checkbox"/>
5. Revisar que las válvulas de entrada a la turbina se encuentren abiertas.	<input type="checkbox"/>
6. Revisar que el equipo electromecánico se encuentre libre de cualquier objeto o material que no sea parte del mismo.	<input type="checkbox"/>
7. Controlar y verificar que todas las partes del equipo electromecánico se encuentren muy bien fijadas, sin que existan partes sueltas.	<input type="checkbox"/>
8. Hacer girar manualmente el volante de inercia de la turbina en sentido de las agujas del reloj, para verificar que no exista impedimento alguno y que todo pueda moverse libremente.	<input type="checkbox"/>
9. Abrir lentamente la válvula principal de la tubería.	<input type="checkbox"/>
10. La turbina empezara a girar y el generador a generar energía, por lo cual debemos verificar la frecuencia en el frecuencímetro que se encuentra en el costado lateral del panel de regulación, debe marcar 55, 56, 57 Hertz.	<input type="checkbox"/>
11. Activar los switch palancas que se encuentran en la parte frontal del panel de regulación de la turbina.	<input type="checkbox"/>
12. Cuando la turbina se estabilice con su frecuencia oscilando lentamente entre 59 y 61 Hertz. Activar el breaker de salida de energía hacia la comunidad o ponerlo en posición ON.	<input type="checkbox"/>
Ocurrencias durante el encendido:	

MICROCENTRAL HIDROELECTRICA -----	
FICHA DE OPERACION	
Nombre del operador:	Fecha:
Hora de apagado:	
Pasos para sacar de servicio la MCH (marque con una x los pasos que va realizando).	
1. Desactivar, palanca abajo o en posición OFF los switch o palancas del panel de regulación de la turbina.	<input type="checkbox"/>
2. Activar el deflector para desviar el flujo de agua que activa la turbina.	<input type="checkbox"/>
3. Desactivar o poner en posición OFF el breaker de salida de energía hacia la comunidad.	<input type="checkbox"/>
4. Cerrar lentamente la válvula principal de la tubería.	<input type="checkbox"/>
Cantidad de horas de servicio de la MCH:	
Observaciones: 	

<div>MICROCENTRAL HIDROELECTRICA</div> <div>-----</div>	
FICHA DE MANTENIMIENTO	
Nombre del encargado:	Fecha:
Hora de inicio:	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	
Herramientas Utilizadas:	
Repuestos y Materiales Utilizados:	
Hora de Finalización:	
Observaciones:	

<div>MICROCENTRAL HIDROELECTRICA</div> <div>-----</div>				
FICHA DE LUBRICACION				
Nombre del encargado:				Fecha:
PARTE A LUBRICAR	TIPO DE LUBRICANTE	CANTIDAD DE LUBRICANTE	MÉTODO DE LUBRICACIÓN	TIEMPO
Observaciones:				

Anexo C.

Imágenes de las Microcentrales Hidroeléctricas en estudio.

IMÁGENES DE MCH MALACATOYA.



Casa de máquinas de MCH Malacatoya.



Equipo electromecánico de MCH Malacatoya.



Turbina de MCH Malacatoya.



Válvula principal de la tubería de MCH Malacatoya.



Arroyos aprovechados por MCH Malacatoya.



Vista frontal de la presa de MCH Malacatoya.

IMÁGENES DE MCH EL ROBLAR.



Casa de máquinas de MCH El Roblar.



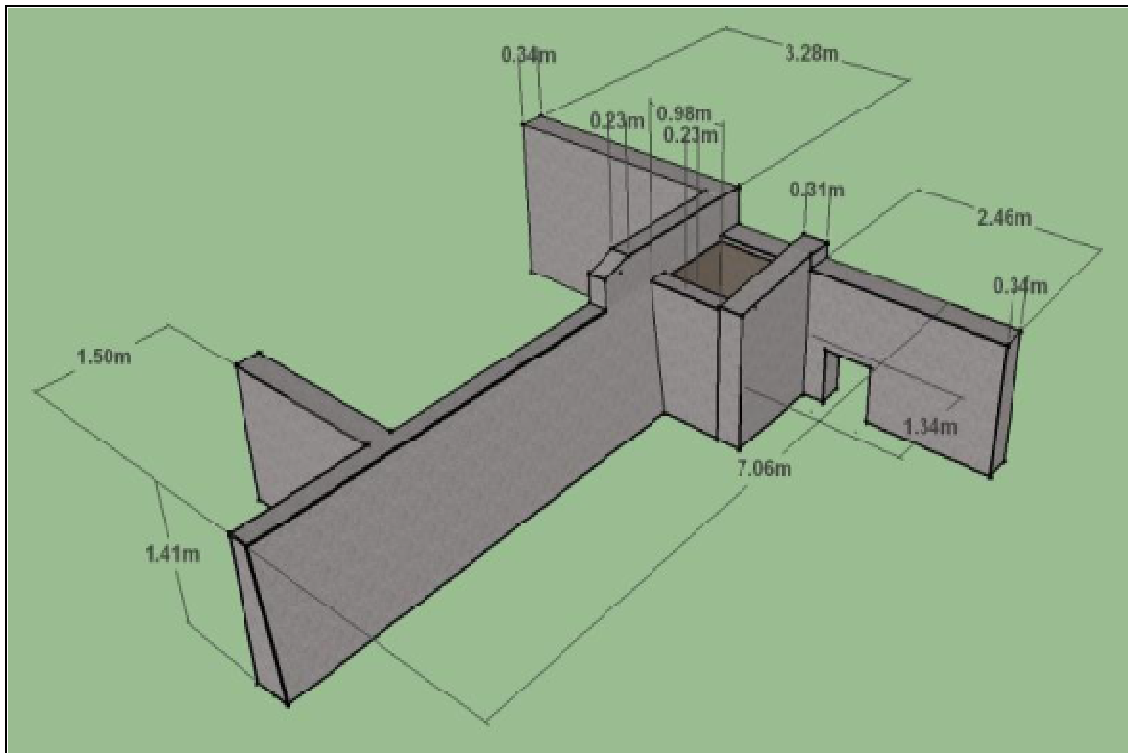
Turbina de MCH El Roblar.



Alabes de la turbina de MCH El Roblar.



Válvula principal de MCH El Roblar.



Dimensiones de la captación de MCH El Roblar.

IMÁGENES DE MCH EL PLAN.



Turbina de MCH El Plan.



inyector y alabes de la turbina de MCH El Plan.



Equipo electromecánico de MCH El Plan.



Entrada de la tubería a la casa de máquinas de MCH El Plan.



Reservorio de MCH El Plan.



Arroyo aprovechado por MCH El Plan.



Hogar beneficiado por servicio de energía eléctrica de las MCH.

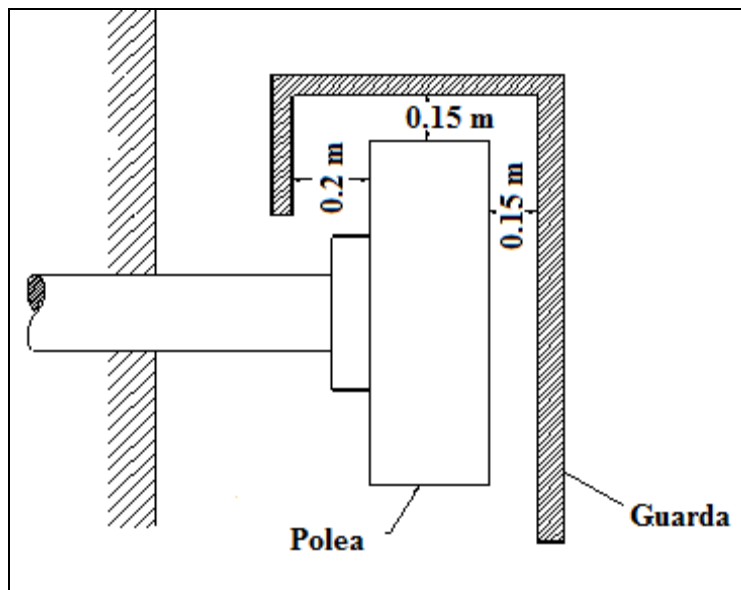
Anexo D.

Dimensionamiento de guarda de seguridad.

DIMENSIONAMIENTO DE GUARDA DE SEGURIDAD.

Se debe fabricar una guarda de seguridad alrededor de las poleas y fajas del sistema. De esta manera se protegen los elementos y a los operarios, de tener contacto con estas partes en movimiento.

El dimensionamiento de separación entre poleas y la guarda de seguridad viene dado por la siguiente imagen.



Diseño de guarda de seguridad.

La guarda de seguridad debe ser de lámina metálica perforada con agujeros máximos de 10 mm o lamina desplegada 1/4 de pulgada. De esta manera, se podrá ver el interior y estar pendientes en caso de fallo de alguna faja. El resto de estructura debe ser fuerte y anclada al piso, de fácil acceso al interior. Los materiales pueden ser diversos como angulares, platinas, etc.